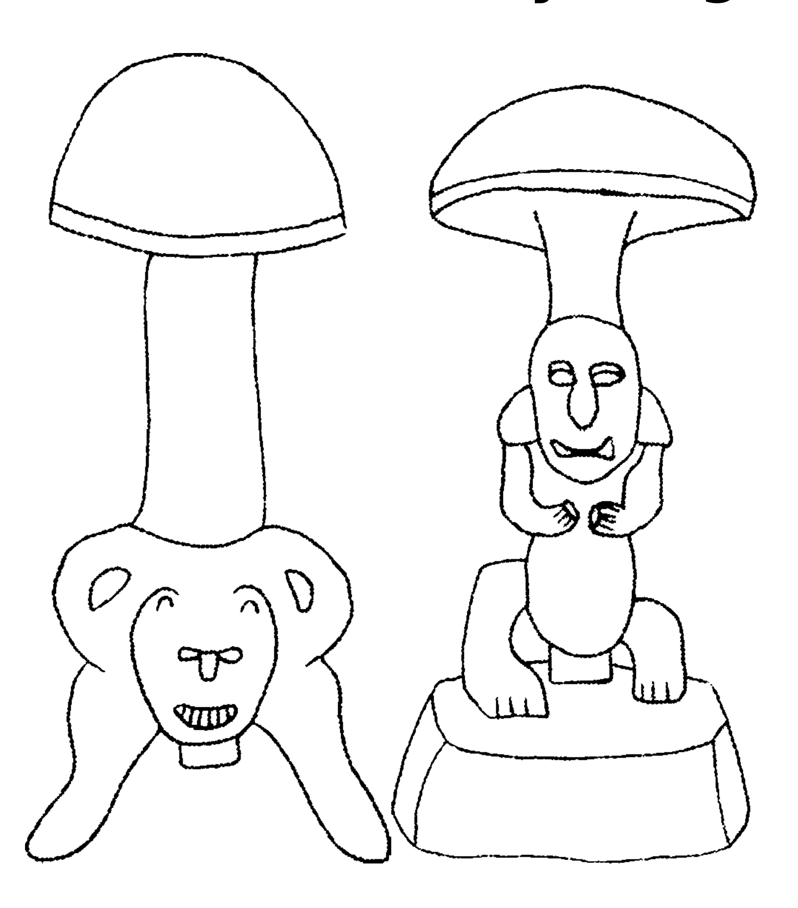
Hans W. Kothe, Erika Kothe

Pilze

Eine unterhaltsame Einführung in die Mykologie



Das Buch

Pilze waren den Menschen noch nie ganz geheuer. Enthalten doch einige lebensgefährliche Gifte. Hinzu kommt ihr zum Teil ungewöhnliches Aussehen und ihr schnelles Wachstum. Doch ein Leben auf Erden wäre ohne Pilze unmöglich. Pilze spielen eine unverzichtbare Rolle im Stoffkreislauf der Natur. Und auf Bier, Wein und lebensrettende Arzneien müssten wir ohne Pilze verzichten.

Die Pilze nehmen in besonderer Weise am Werden und Vergehen teil. Sie sind der Erde näher als die grünen Pflanzen, ganz ähnlich wie die Schlange ihr näher als die anderen Tiere ist. Hier wie dort ist der Körper in geringem Masse gesondert; der Fuß dominiert. Dafür ist auch der Reichtum an heilenden und tödlichen Kräften stärker – und an Geheimnissen.

Ernst Jünger

Einleitung

Pilzen haftet schon seit Urzeiten etwas Geheimnisvolles an, und vielen Menschen sind diese merkwürdig anmutenden Organismen auch in der heutigen Zeit immer noch nicht ganz geheuer. Gründe dafür gibt es viele: Pilze sehen häufig schleimig und ein wenig ekelerregend aus, sie wachsen manchmal in geheimnisvollen Kreisen, sogenannten Hexenringen, verändern bei Berührung die Farbe, verbreiten häufig einen fürchterlichen Gestank oder enthalten sogar Drogen und tödliche Gifte. Aber auch das sprichwörtlich schnelle Wachstum, also der Umstand, dass Pilze über Nacht aus dem Boden schießen, obwohl tags zuvor noch nichts von ihnen zu sehen war, macht diese mysteriösen Organismen nicht unbedingt vertrauenerweckender.

Daher ist es auch kaum verwunderlich, dass sich die Menschen der Antike eine natürliche Entstehung der Pilze nicht einmal vorstellen konnten, sondern glaubten, sie würden sich durch eine sogenannte Urzeugung (Generatio spontanea) stets neu aus Schlamm und den faulenden Säften des feuchten Erdreichs entwickeln. Möglich machen sollte das nach Ansicht der Gelehrten eine geheimnisvolle Kraft, „Lebenswärme“ genannt, die man in der Feuchtigkeit des Bodens vermutete und die dafür verantwortlich sein sollte, dass – abhängig von der jeweiligen Ausgangssubstanz – mehr oder weniger vollkommene Lebewesen entstanden.

Diese heutzutage etwas seltsam anmutende Vorstellung versetzte vor 2000 Jahren niemanden in Erstaunen. Schließlich gab es neben den Pilzen auch noch zahlreiche andere Organismen, etwa Flöhe, Läuse, Mücken, Muscheln, Krebse, Würmer und sogar Aale oder Mäuse, von denen man annahm, sie würden praktisch aus dem Nichts entstehen.

Bei den Pilzen gingen die Gelehrten aber noch einen Schritt weiter. So machte man noch bis in 19. Jahrhundert zusätzlich Hexen, den Teufel oder Blitz und Donner für ihr Auftauchen verantwortlich – ein Umstand, der auch in vielen der volkstümlichen Namen wie Satans- oder Hexenpilz zum Ausdruck kommt. Andere glaubten, „urinöse Salze“ könnten eine Schlüsselrolle bei der Pilzentstehung spielen, da sie angeblich bevorzugt an Stellen wuchsen, an denen Hirsche und Wildschweine ihren Urin hinterlassen hatten, und ein besonders fantasievoller Zeitgenosse namens Johann Theodor Gottlob Frenzel (1740–1807) äußerte noch 1804 die interessante Theorie, das Wachsen der Pilze hänge mit dem verstärken Auftauchen von Sternschnuppen zusammen.

Viele Experten hielten Pilze aber auch für Ausscheidungen des Bodens oder der Bäume, an denen sie wuchsen. Diese Theorie hielt sich ebenfalls sehr lange, sodass beispielsweise Friedrich Casimir Medicus (1736–1808), seinerzeit Direktor des Botanischen Gartens in Mannheim, noch Ende des 18. Jahrhunderts vermutete, Baumpilze seien Ausdünstungen des Holzes, die außerhalb des Baumes kristallisierten:

> Könnte man nicht mutmaßen, dass die Baumpilze einen Ursprung haben wie die Kristallisation? Sie entstehen zum größten Teil nur auf Holz, das zu faulen anfängt. Könnten sie nicht Auströmungen oder Ausdünstungen sein, die von diesem Holz ausgehen und in der Weise kristallisieren? Bei Baumpilzen kann man nichts entdecken, was wir bei anderen Pflanzen finden: man sieht dort weder Gefäße noch Flüssigkeit oder Fortpflanzungsorgane. Sie sind auf dem Holze festgewachsen, aber ohne Wurzeln.

Das Geheimnis wird gelüftet

Erst als der französische Chemiker Louis Pasteur (1822–1895) nachweisen konnte, dass sich selbst winzige Einzeller aus „Keimen“ entwickeln, die, für das menschliche Auge unsichtbar, zumeist durch die Luft übertragen werden, ließen sich nach und nach auch die letzten Anhänger der Urzeugungshypothese davon überzeugen, dass Leben nicht Tag für Tag neu entsteht – nicht einmal, wenn es sich um Pilze handelt.

Dabei hatte es bereits vorher Gelehrte gegeben, die dem Geheimnis der Fortpflanzung von Pilzen auf die Spur gekommen waren. Dem außerordentlich vielseitigen italienischen Arzt, Naturforscher und Dramatiker Giovanni Battista della Porta (1535–1615) kommt vermutlich das Verdienst zu, als erster Pilzsporen beschrieben zu haben. Als Sporen bezeichnet man die zumeist einzelligen Verbreitungs- und Vermehrungseinheiten der Pilze, die die gleiche Aufgabe haben wie die Samen der Pflanzen. Pilzsporen sind in der Regel kaum größer als 25 Mikrometer[1] und aus diesem Grunde eigentlich nur unter dem Mikroskop (das zu della Portas Lebzeiten noch nicht erfunden war) deutlich zu erkennen. Daher stellt die Interpretation des italienischen Naturforschers eine durchaus bemerkenswerte Leistung dar, die allerdings nur wenig Anerkennung fand.

Als dann seinem Landsmann Pier Antonio Micheli (1679–1737) etwa 150 Jahre später Kulturversuche gelangen, mit denen er zeigen konnte, dass unter bestimmten Bedingungen aus den Sporen einer Pilzart genau wieder der Pilz heranwächst, der die verwendeten Sporen geliefert hatte, wäre es eigentlich an der Zeit gewesen, diesen Gelehrtenstreit zu beenden.

Das geschah allerdings nicht. Vielmehr wurden immer neue Argumente ins Feld geführt, die beweisen sollten, dass Pilze sich nicht so ohne Weiteres mit anderen Lebewesen vergleichen ließen, etwa die Vermutung, Gott habe es absichtlich so eingerichtet, dass Pilze sich nicht mit „Samen“

fortzupflanzen, weil pilzliche Pflanzenschädlinge sonst schon bald alle Feldfrüchte vernichten würden. Und da sich solche Einwände zur damaligen Zeit nur schwer entkräften ließen, dauerte es auch noch ein weiteres Jahrhundert, bis sich schließlich die Auffassung durchgesetzt hatte, dass Pilze im Grunde ganz normale Lebewesen sind, die sich – zumindest soweit es ihre Fortpflanzung betrifft – nicht grundsätzlich von anderen Organismen unterschieden.

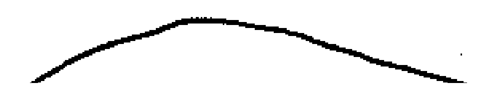
Allerdings entbrannte nun eine Diskussion darüber, um was für eine Art von Organismen es sich bei den Pilzen eigentlich handelte. Weil sie sich, im Gegensatz zu den Tieren, nicht aktiv fortbewegen können, hatte man sie zunächst zu den Pflanzen gerechnet, auch wenn ihnen so wichtige Strukturen wie Wurzeln, Stängel, Blätter, Samen oder Früchte fehlten. Aber dann machte Baron Otto von Münchhausen (1716–1774), ein Verwandter des berühmten „Lügenbarons" Karl Friedrich Hieronymus von Münchhausen, eine merkwürdige Entdeckung. Als er die Sporen eines Hutpilzes in Wasser brachte, und sie anschließend mit einer Lupe beobachtete, geschah nach seiner Schilderung folgendes: Die Sporen schwollen in dem feuchten Milieu an und verwandelten sich anschließend in bewegliche Tierchen. Später entstanden aus den Tierchen dann wieder Pilze. Aus diesen Beobachtungen schloss Münchhausen, Pilze seien Zwitterwesen, die zu bestimmten Zeiten ihres Daseins Pflanzen, zu anderen Tiere seien.

Diese gewagte Interpretation, die nicht einmal in einer angesehenen Fachzeitschrift veröffentlicht worden war, wäre sicher unbeachtet geblieben, wenn Münchhausen nicht in brieflichem Kontakt mit dem schwedischen Arzt und Botaniker Carl von Linné (1707–1778) gestanden hätte, einem der berühmtesten Naturforscher seiner Zeit. Linné genoss seinen hervorragenden Ruf zu Recht, denn er war der Verfasser einer Schrift mit dem Titel *Systema Naturae*, in der er versucht hatte, alle damals bekannten Tier- und Pflanzenarten in möglichst eindeutiger Weise zu

klassifizieren. Dieses Werk gilt als Meilenstein der Biologie, und unzählige Tier- und Pflanzennamen, die Linné in diesem Werk aufführte, haben noch heute Gültigkeit, ebenso wie das von ihm eingeführte System der „binären Nomenklatur“, nach der sich der wissenschaftliche Name eines jeden Lebewesens aus einem Gattungs- und einem Artnamen zusammensetzt. So heißt der Fliegenpilz beispielsweise *Amanita muscaria*, der nahe verwandte Grüne Knollenblätterpilz dagegen *Amanita phalloides*.

Diesem berühmten und einflussreichen Gelehrten teilte von Münchhausen also die sonderbaren Verwandlungen mit, die die Pilzsporen angeblich durchmachten. Linné wiederholte die Versuche mit unterschiedlichen Pilzsporen und meinte ebenfalls, Tausende winziger Würmer unter dem Mikroskop zu erkennen, die aus den Pilzsporen schlüpften, wenn man diese in Wasser gab und einige Tage wartete. Wie wir heute wissen, hatten Münchhausen und Linné nichts weiter als eine normale Sporenkeimung beobachtet, die bei den meisten Pilzen mit einem dünnen Keimschlauch beginnt, der einem winzigen Wurm tatsächlich nicht ganz unähnlich ist und aus dem sich später das sogenannte Pilzmyzel entwickelt.

Bevor näher auf den Begriff Myzel eingegangen wird, erscheint es zunächst notwendig, mit einem weitverbreiteten Irrtum auszuräumen. So glauben viele der Pilzsammler, die im Spätsommer oder Herbst durch die Wälder streifen, um hier und dort einen stattlichen Steinpilz oder Maronenröhrling abzuschneiden und in den Korb zu legen, damit den eigentlichen Pilz nach Hause zu tragen. Damit liegen sie allerdings völlig falsch, denn das, was man im normalen Sprachgebrauch als Pilz bezeichnet, ist in Wahrheit nur ein oft relativ kleiner Teil des Gesamtorganismus, der in der Mykologie (Pilzkunde) als Fruchtkörper bezeichnet wird.



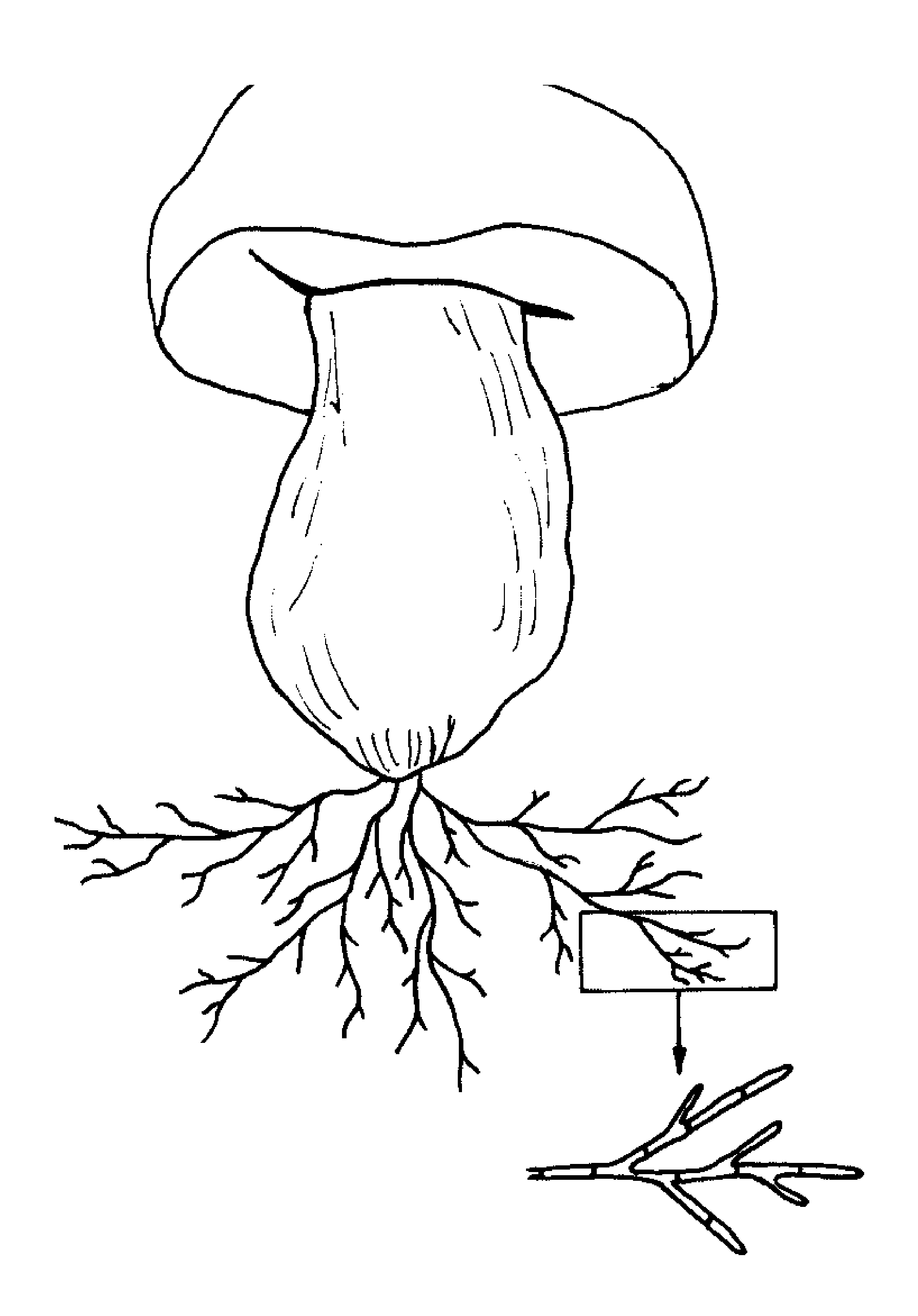


Abbildung 1: Wenn von Pilzen die Rede ist, meinen die meisten Menschen die aus Hut und Stiel aufgebauten Fruchtkörper der Ständerpilze. Tatsächlich handelt es sich bei diesen Fruchtkörpern, die normalerweise nur bei günstigen Wetterbedingungen gebildet werden und ausschließlich der Verbreitung von Sporen dienen, aber nur um einen Teil des gesamten Pilzes. Der Rest besteht aus einem unterirdischen Myzel, das sich – ebenso wie übrigens auch Stiel und Hut – aus einzelnen septierten Schläuchen (Hyphen) zusammensetzt.

Wie die Bezeichnung bereits vermuten lässt, besteht seine Aufgabe darin, „Früchte", also Sporen, zu bilden. Und um diese anschließend verbreiten zu können, muss der Fruchtkörper (zum Glück für die Sammler) aus dem sicheren Schutz des Waldbodens herausgeschoben werden und sogar noch ein Stück in die Höhe wachsen, damit sichergestellt ist, dass der Wind die Pilzsporen auch gut forttragen und so verbreiten kann (Abbildung 1).

Gebildet werden die Fruchtkörper (zumeist im Herbst, wenn normalerweise relativ feuchte Bedingungen vorherrschen, die den Sporen das Auskeimen erleichtern) vom zuvor erwähnten Pilzmyzel, das im Erdboden oder bei Baumpilzen auch im Holz verborgen ist. Bei diesem Myzel handelt es sich um ein Geflecht aus einzelnen „Schläuchen", den sogenannten Hyphen, die in der Regel nur einen Durchmesser von wenigen Mikrometern haben, dafür aber oft sehr lang sind, damit sie den Erdboden auf der Suche nach Nährstoffen großflächig durchwuchern können. So fand man bei Untersuchungen im Bundesstaat Oregon in den Vereinigten Staaten heraus, dass sich die Hyphen eines einzigen Hutpilzes über ein Gebiet von etwa neun Quadratkilometern erstreckten und dabei ein geschätztes Gewicht von 600 Tonnen erreicht hatten. Und weil für dieses Wachstum vermutlich über 2000 Jahre notwendig waren, gehören solche Exemplare nicht nur zu den größten, sondern auch zu den ältesten Lebewesen der Erde.

Mit diesen Verhältnissen noch nicht vertraut, hielt also auch Linné die winzigen Keimhyphen der Pilzsporen für Würmer, gab ihnen den beziehungsreichen Gattungsnamen *Chaos* und reihte sie in der 12. Auflage seiner *Systema*

Naturae von 1776 konsequenterweise bei den Würmern ein. Die Folge war, dass man die Pilze jetzt also nicht mehr zu den Pflanzen rechnete, sondern bei den Tieren einordnete.

Systematische Stellung der Pilze

Aber wohin gehören die Pilze denn nun wirklich? Um diese Frage beantworten zu können, muss man sich noch einmal kurz die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Pflanzen, Tieren und Pilzen anschauen. Pflanzen sind mithilfe des Blattgrüns (Chlorophyll) in der Lage, Fotosynthese zu betreiben, also die Lichtenergie der Sonne in chemische Energie umzuwandeln und so aus anorganischen Substanzen (Wasser und Kohlendioxid) organische Moleküle (Kohlenhydrate) herzustellen, die sie dann für ihre Ernährung nutzen können. Man spricht in diesem Fall von autotropher Ernährung. Tiere besitzen dagegen kein Chlorophyll und können somit auch keine Fotosynthese betreiben. Daher müssen sie sich von organischen Substanzen ernähren, also Pflanzen fressen oder andere Tiere beziehungsweise deren Kadaver (heterotrophe Ernährung).

Und wie steht es mit den Pilzen? Auch sie besitzen kein Chlorophyll und sind daher nicht zu einer autotrophen Lebensweise in der Lage. Vielmehr müssen sie sich heterotroph ernähren, sodass sie in dieser Beziehung also den Tieren ähneln. Aber es gibt auch wichtige Unterschiede: Tierische Zellen sind nur von einer Zellmembran umgeben, während Pilze – genau wie Pflanzen – zusätzlich noch eine Zellwand besitzen. Aufgrund dieser Tatsache könnte man nun dazu tendieren, die Pilze doch wieder in die verwandtschaftliche Nähe der Pflanzen zu rücken – wäre da nicht der Umstand, dass die Zellwand der Pflanzen Zellulose enthält, die der meisten Pilze dagegen Chitin, also eine Substanz, aus der beispielsweise auch das Außenskelett der Insekten besteht. Außerdem speichern Pflanzen ihre

Reservestoffe in Form von Stärke, während dies bei Tieren und Pilzen in Form von Glykogen geschieht.

Die Liste der unbefriedigenden Einordnungsversuche ließe sich fortsetzen, denn es gibt weitere Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Pilze gegenüber den beiden anderen Gruppen, sodass man bei Berücksichtigung aller Fakten feststellen muss: Pilze lassen sich weder Pflanzen noch Tieren problemlos zuordnen. Der naheliegende Schluss ist daher, die Pilze als eigene Gruppe zu führen. Und genau das schlug als einer der ersten Robert Harding Whittaker in einem *Science*-Artikel des Jahres 1969 vor. Der dort von ihm veröffentlichte Stammbaum erkannte den Pilzen einen eigenständigen taxonomischen[2] Rang zu, führte sie also als gleichberechtigte Gruppe neben den Pflanzen und Tieren.

Inzwischen wissen wir, dass Whittaker damit ziemlich richtig lag, denn nachdem es John Watson und Francis Crick Anfang der 50er Jahre gelang, die Struktur der DNA (Desoxyribonukleinsäure) aufzuklären, also dem Molekül, das sämtliche Erbanlagen eines Lebewesens enthält, und sie damit das Zeitalter der Molekularbiologie einläuteten, konnten neue Methoden entwickelt werden, mit denen sich nunmehr verwandtschaftlichen Verhältnisse unterschiedlicher Lebewesen genauer feststellen lassen als früher. Daher ist man heute nicht mehr so sehr auf Spekulationen angewiesen, wenn aussagekräftige fossile Belege für den Verlauf der Evolution fehlen, was für die meisten Pilze zutrifft.

Um das Prinzip dieser Art von Untersuchungen zu verstehen, muss man im Grunde nur wissen, dass die DNA eines jeden Lebewesens aus vier verschiedenen Nukleotidbausteinen besteht und die unterschiedliche Reihenfolge dieser chemischen Bausteine die Eigenschaften des jeweiligen Organismus festlegt. So ist beispielsweise die Reihenfolge der Nukleotide in der DNA des Menschen und seines nächsten Verwandten, des Affen, in weiten Teilen

identisch ist, aber sie zeigt natürlich auch eine Reihe von Abweichungen, denn es gibt ja bekanntlich entscheidende Unterschiede zwischen den Angehörigen beider Gruppen. Im Vergleich des Menschen mit einer Ratte, die ja auch noch zu den Säugetieren gehört, existieren dann bereits größere Unterschiede, und die DNA einer Fliege oder gar eines Bakteriums weist nur noch relativ geringe Gemeinsamkeiten mit dem menschlichen Erbgut auf.

Will man die verwandtschaftlichen Verhältnisse zwischen einzelnen Organismen feststellen, kann man daher die Abfolge, also die Nukleotidsequenz der DNA unterschiedlicher Arten vergleichen, um anschließend anhand der Gemeinsamkeiten und Unterschiede sagen zu können, wie eng sie miteinander verwandt sind. Nun wäre ein Vergleich des gesamten Genoms der verschiedenen Organismen sehr aufwendig, aber es gibt inzwischen glücklicherweise vereinfachte Verfahren, bei denen nur kleine Bereiche überprüft werden müssen. Nachdem verschiedene Pilzgruppen mit solchen Methoden untersucht und mit Tieren beziehungsweise Pflanzen verglichen worden waren, stellte sich heraus, dass Pilze weder mit Pflanzen noch Tieren näher verwandt waren. Die vorgeschlagene Stellung als Schwestergruppe zu den Tieren war also gerechtfertigt.

Allerdings tat sich gleichzeitig ein neues Problem auf, denn die Untersuchungen bestätigten eine unter Mykologen schon lang gehegte Vermutung: Nicht alles, was bisher als Pilz bezeichnet wurde, ließ sich dieser Gruppe tatsächlich zuordnen. Das galt vor allem für Organismen wie die Oomyceten (Eipilze) oder Myxomyceten (Schleimpilze), die man bisher unter dem Begriff „Niedere Pilze“ zusammengefasst hatte, die aber tatsächlich in die nähere Verwandtschaft von Pflanzen oder Einzellern (Protisten) gehören.

Daher werden nach dem heutigen Stand der Forschung nur noch folgende Gruppen zu den Echten oder Höheren

Pilze (Eumycota) gerechnet:

– Basidiomyceten
– Ascomyceten
– Zygomyceten und Glomeromyceten
– Chytridiomyceten

Voneinander abgrenzen lassen sie sich durch die unterschiedliche Art der sexuellen Fortpflanzung (Sporenbildung). So zeichnen sich die Basidiomyceten (Ständerpilze) dadurch aus, dass sie ihre Sporen an spezialisierten Hyphen bilden, die Basidien genannt werden. Es gibt 30.000 bis 40.000 verschiedene bekannte Basidiomycetenarten, darunter beispielsweise Knollenblätterpilze (siehe Kapitel 2) und den Fliegenpilz (siehe Kapitel 6), aber auch die Mehrzahl unserer Speisepilze.

Bei den Ascomyceten oder Schlauchpilzen entstehen die Sporen in sehr typischen Schläuchen, die man Asci (Einzahl Ascus) nennt. Zu den rund 46.000 bekannten Arten gehören beispielsweise die Bäckerhefe (siehe Kapitel 10) und die meisten Flechtenpilze (siehe Kapitel 11).

Die Zygomyceten oder Jochpilze verdanken ihren Namen ebenfalls den Organen der sexuellen Vermehrung. Bei dieser Gruppe wachsen zwei spezialisierte Hyphen unterschiedlicher Partner aufeinander zu und verschmelzen an den Spitzen, sodass eine Struktur entsteht, die an ein Joch erinnert, also an ein altes Zuggeschirr. An der Verschmelzungsstelle entsteht dann eine Zygospore, die Tausende von Zellkernen enthalten kann. Von den Zygomyceten gibt es (bisher) weltweit nur etwa 650, zumeist recht unauffällige Arten.

Zu den Glomeromyceten gehören jene Gruppe von Mykorrhizapilzen, deren Hyphen in die Rindenzellen des Pflanzenpartners eindringen (Endomykorrhiza; siehe Kapitel 11). Es handelt sich um obligate Symbionten, also Organismen, die für ihr Überleben auf einen Wirt angewiesen sind. Noch ist unklar, ob sie einen eigenen Rang

innerhalb der Pilzsystematik haben sollten oder vielleicht doch den Zygomyceten als ihren nächsten Verwandten zugeordnet werden sollten.

Unter den Chytridiomyceten (Flagellatenpilze), die früher zu den Niederen Pilzen gerechnet wurden, findet man zahlreiche pflanzenpathogene Pilze, etwa den Kartoffel Schädling *Phytophtera infestans*, der einst sogar das Schicksal einer ganzen Nation beeinflusst hat (siehe Kapitel 8). Außerdem gibt es noch eine Reihe weiterer kleiner Gruppen, beispielsweise solche, die im Magen und Darm von Insekten leben.

Viele Pilze verbreitet sich im Normalfall allerdings nicht durch sexuell entstandene Sporen fort, sondern ungeschlechtlich durch sogenannte Konidien. Dies hat zwar den Nachteil, dass es bei der Fortpflanzung nicht zu einer Durchmischung des genetischen Materials kommt, aber es ist anderseits natürlich von Vorteil, wenn man sich selbst dann problemlos vermehren kann, wenn kein Partner mit passendem Paarungstyp[3] vorhanden ist. Da sich solche Arten natürlich nicht in ein System einordnen lassen, das auf der unterschiedlichen Form der sexuellen Fortpflanzung beruht, wusste man sich nicht anders zu helfen, als sie in einer gesonderten Gruppe zusammenzufassen, den sogenannten Deuteromyceten oder imperfekten Pilzen (Fungi imperfecti), zu denen etwa 30.000 Arten gehören, darunter zahlreiche Schimmelpilze (siehe Kapitel 4).

[1] Ein Mikrometer (µm) entspricht 1/1000 Millimeter.

[2] Die Taxonomie klassifiziert die Lebewesen nach Kategorien wie Art, Gattung, Familie usw.

[3] Bei Pilzen findet man nicht nur eine Zweigeschlechtlichkeit, wie wir sie von den Tieren kennen, sondern es gibt einige Arten, etwa der zu den Basidiomyceten gehörenden Spaltblättling (*Schizophyllum commune*), der über 20.000 verschiedene „Geschlechter“ aufweist. Daher spricht man bei Pilzen auch nicht von Geschlechtspartnern, sondern von unterschiedlichen Paarungs- oder Kreuzungstypen, selbst wenn das im Grunde nur andere Bezeichnungen für die gleiche Sache ist.

Der grüne Mörder

Bei Pilzen und Dichtern kommen auf einen guten zehn schlechte, besagt ein Sprichwort, und während dies auf Dichter vielleicht tatsächlich zutreffen mag, so ist es bei Pilzen zumindest stark übertrieben, denn die Wahrscheinlichkeit, sich mit „schlechten Schwämmen“ zu vergiften ist im Grunde nicht besonders groß. Von den rund 6000 in Europa beheimateten Großpilzen gelten nur etwa 180 als giftig oder giftverdächtig, und auch von diesen enthalten nur wenige ein für den Menschen lebensgefährliches Toxin. Dennoch kommt es trotz aller Warnungen und einer stark verbesserten Aufklärung auch immer noch alljährlich zu tödlichen Unfällen durch den Verzehr von Giftpilzen.

Dabei ist schon seit vielen Jahrhunderten bekannt, dass man um bestimmte Pilze besser einen großen Bogen machen sollte, denn erste Angaben zur möglichen Giftigkeit finden sich bereits bei den Gelehrten der Antike, auch wenn die Vorstellungen über die Ursachen noch recht abenteuerlich waren. So hieß es vielfach, Pilze würden ihre toxischen Eigenschaften durch äußere Einflüsse erhalten, also etwa dadurch, dass sie in der Nähe giftiger Kräuter wuchsen öder neben rostigen Nägeln beziehungsweise faulenden Lumpen. Weit verbreitet war aber auch die Vorstellung, Giftschlangen könnten etwas mit der Ungenießbarkeit von Pilzen zu tun haben, sodass man sich vor denen hütete, die in der Nähe von Schlangenlöchern wuchsen.

Erste Versuche zur Bekämpfung von Pilzvergiftungen wurden ebenfalls schon recht früh unternommen. So finden wir in den Aufzeichnungen des römischen Gelehrten Plinius des Älteren (23–79) das Rezept für ein damals augenscheinlich sehr beliebtes Gegenmittel bei

Vergiftungen durch Pilze: Eine Mischung aus Rettich, Essig und Hühnermist – ohne Zweifel ein ausgezeichnetes Brechmittel, mit dem sich ein Teil der gefährlichen Mahlzeit auf natürlichem Wege entfernen ließ. Weitere Wirkungen dürfen allerdings angezweifelt werden. Nach Angaben des griechischen Arztes Galen von Pergamon (circa 129–199), Leibarzt mehrerer römischer Kaiser, sollte bei der Herstellung dieses Trankes der Mist von frei laufenden Hühnern verwendet werden, da er weit wirksamer sei, als der von eingesperrten, woraus man ersehen kann, dass die Geschichte von den angeblich schmackhafteren Eiern artgerecht gehaltener Hühner so neu nicht ist.

Das Misstrauen gegenüber Pilzen und die mit einem Genuss verbundene Angst hielten viele Jahrhunderte an. Unzählige Menschen, deren kärglicher Speiseplan durch die Nutzung von Pilzen durchaus hätte bereichert werden können, verzichteten vorsichtshalber auf den Verzehr, und selbst unter den Gelehrten und Pilzkennern gab es große Unsicherheiten. Das Motto: „Wir untersuchen Pilze, wir essen sie nicht“, das der italienische Arzt und Pilzforscher Giovanni Antonio Battarra (1714–1789) seinem Hauptwerk *Fongorum agri Ariminensis historia* voranstellte, mag als Hinweis dafür dienen.

Erst Ende des 18. Jahrhunderts fand man heraus, dass die Giftigkeit von Pilzen eine unveränderliche Eigenschaft bestimmter Arten ist, also äußere Umstände keine Rolle spielen. Etwa zu dieser Zeit begann man auch, die ersten Pilzgifte zu untersuchen und zu charakterisieren. Genaue chemische Analysen wurden allerdings erst im Verlauf des vergangenen Jahrhunderts durchgeführt. Aber selbst mit den heute vorhandenen Untersuchungsmöglichkeiten gelang es bisher nur, einen Bruchteil aller Pilztoxine chemisch zu analysieren und zu identifizieren. Das liegt einmal an der zumeist recht komplizierten Struktur vieler Pilzgifte, aber auch daran, dass jedes Exemplar zumeist nur geringe Mengen der giftigen Substanz enthält. Bei vielen

Arten ist außerdem ein relativ komplexes Gemisch an Giften vorhanden, in dem die einzelnen Komponenten oft auch noch in veränderlicher Konzentration Vorkommen. Daher sind unsere Kenntnisse vieler Pilztoxine weiterhin unzureichend, und auch die Behandlungsmöglichkeiten nach einer Pilzvergiftung können noch lange nicht als optimal bezeichnet werden.

Knollenblätterpilzvergiftungen

Todesfälle durch Giftpilze sind in Mitteleuropa erster Linie auf Arten aus der Gattung *Amanita* zurückzuführen, wobei der häufige Grüne Knollenblätterpilz, der im Volksmund auch „Grüner Mörder" genannt wird, besonders gefürchtet ist. Gelangen diese Pilze in die Küche, ist die höchste Alarmstufe angesagt. Schon eine Menge von 50 Gramm Frischgewicht – manchmal also nur ein einziges Exemplar – reicht aus, um einen Erwachsenen zu töten, denn die letale Dosis liegt bei etwa 0,1 Milligramm (1/10.000 Gramm) Gift pro Kilogramm Körpergewicht. Damit ist diese gefährliche Substanz zehnmal effektiver als beispielsweise Kreuzottergift.

Genau genommen enthalten Knollenblätterpilze zwei Gruppen unterschiedlicher Toxine, die aber chemisch sehr ähnlich aufgebaut sind und in Anlehnung an den wissenschaftlichen Namen des Grünen Knollenblätterpilzes (*Amanita phalloides*) Amanitine und Phalloidine genannt werden. Wirklich gefährlich sind allerdings nur die Amanitine. Sie bestehen aus kurzen, zyklisch zusammen gelagerten Aminosäureketten (Aminosäuren sind die Grundbausteine der Proteine), und ihre Wirkung besteht darin, dass sie die RNA-Polymerase hemmen, ein für jede Zelle lebenswichtiges Enzym.

Um die Folgen einer Inaktivierung der RNA-Polymerase einschätzen zu können, ist es notwendig, kurz auf den wichtigsten Prozess des biologischen Zellstoffwechsels

einzugehen, auf die Proteinbiosynthese. Proteine gehören zu den körpereigenen Substanzen, ohne die kein Organismus existieren kann. (Der Begriff leitet sich von dem griechischen Wort „proteuo“ ab, was soviel bedeutet wie: Ich nehme den ersten Platz ein.) Daher muss auch jede Zelle, damit sie in der vorgesehenen Weise funktionieren kann, ständig Proteine herstellen. Bei diesem recht komplizierten Prozess gilt es unter anderem, ein räumliches Problem zu bewältigen, denn die Anweisungen zur Produktion der verschiedenen Proteine sind in der DNA des Zellkerns gespeichert, während die Orte der Proteinsynthese, die sogenannten Ribosomen, an denen diese Information also letztlich benötigt wird, außerhalb des Zellkerns liegen. Aus diesem Grund besitzt die Zelle ein raffiniertes Übermittlungssystem, mit dessen Hilfe diese wichtige Aufgabe dauerhaft bewältigt wird.

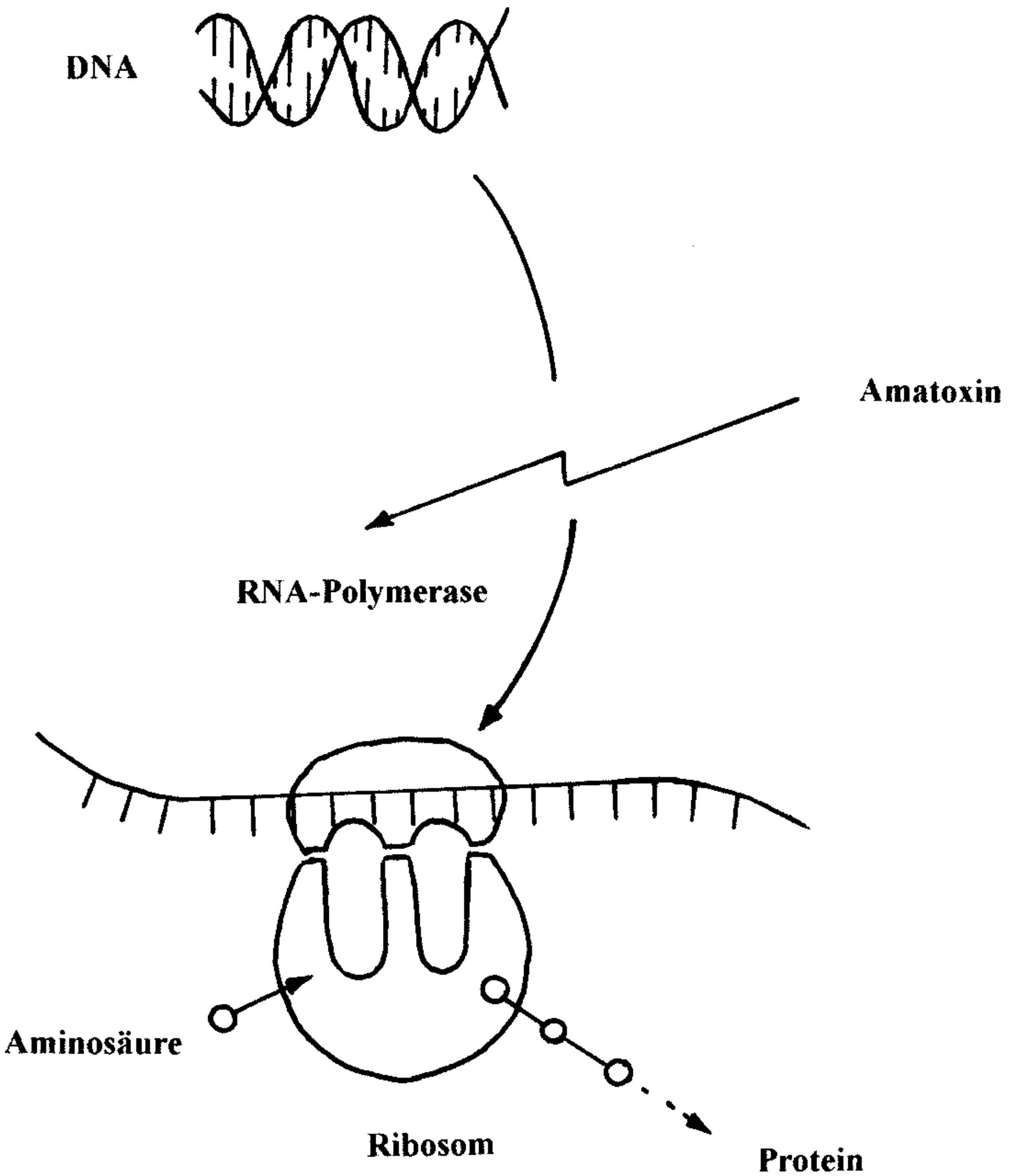


Abbildung 2: Wirkungsweise des Amanitins der Knollenblätterpilze.

Verantwortlich für den Transport der Information von der DNA zu den Orten der Proteinsynthese ist die RNA, ein der DNA sehr ähnliches Molekül, das aber deutlich kleiner ist und daher aus dem Zellkern herausgeschleust werden kann.

Ist dies geschehen, lagert es sich an die Ribosomen, sodass die Informationen aus der DNA dort jetzt zur Verfügung stehen. An diesem, insgesamt recht komplizierten Vorgang ist in entscheidender Weise die bereits erwähnte RNA-Polymerase beteiligt, und wird diese durch ein Gift wie Amanitin in ihrer Funktion gehemmt, findet keine Informationsübertragung und damit auch keine Proteinsynthese mehr statt. Die Zelle stirbt (Abbildung 2).

Geschädigt werden bei einer Amanitinvergiftung hauptsächlich die sehr aktiven Leberzellen eines Opfers, denn das Toxin, das über den Dünndarm aufgenommen wird, gelangt über die Pfortader in die Leber, wo es dann mit seinem zerstörerischen Werk beginnt. Anschließend wird es wieder in den Darm abgegeben, von wo aus es dann später erneut in die Leber gelangt. Auf diese Weise beginnt ein tödlicher Kreislauf, bei dem immer mehr Leberzellen absterben, bis es ohne ärztliche Behandlung nach vier bis sieben qualvollen Tagen schließlich zum Tod durch Leberversagen kommt.

Aber nicht nur die beachtliche Effektivität des Giftes des Knollenblätterpilzes stellt ein Problem dar, sondern auch die ungewöhnlich hohe Latenzzeit, also der Zeitraum, der vergeht, bis die ersten Vergiftungssymptome nach dem Verzehr von Knollenblätterpilzen sichtbar werden. Während der Körper bei vielen anderen Giftpilzen bereits nach 15 bis 30 Minuten beginnt, sich mit Brechdurchfällen vom aufgenommenen Gift zu befreien, passiert bei einer Amanitinvergiftung in der Regel zehn bis zwölf Stunden lang überhaupt nichts. Manchmal dauert es sogar 24 Stunden oder länger, ehe eine Reaktion auf die Vergiftung erfolgt.

Die anschließend einsetzenden, häufig schon blutigen Brechdurchfälle lassen unschwer erkennen, dass eine Schädigung des Körpers bereits eingetreten ist. Dadurch wird natürlich auch eine Behandlung erschwert, und allzu oft kommt jetzt bereits jede medizinische Hilfe zu spät. Die Brechdurchfälle halten zwei bis vier Tage an, wobei es

aufgrund des starken Wasserverlustes zu einem Blutdruckabfall oder Schock kommen kann. Bald darauf beginnt sich die Haut des Opfers gelb zu verfärben – ein untrügliches Anzeichen, dass die Leber ihre lebensnotwendigen Aufgaben nicht mehr im erforderlichen Umfang wahrnehmen kann.

Die große Gefahr, die von Knollenblätterpilzen ausgeht, lässt sich auch durch Zahlen belegen. In der Schweiz, wo bereits seit Beginn es letzten Jahrhunderts eine Statistik über Pilzvergiftungen geführt wird, sind über 90 Prozent der tödlich verlaufenden Unglücksfälle auf den Grünen oder den Weißen Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides* beziehungsweise *Amanita virosa*) zurückzuführen. In absoluten Zahlen waren das zwischen 1919 und 1958 immerhin 87 Fälle. Im gleichen Zeitraum gab es dagegen beispielsweise nur drei Todesfälle durch Risspilze (*Inocybe*) beziehungsweise Trichterlinge (*Clitocybe*) und jeweils zwei durch Pantherpilze (*Amanita pantherina*) und Fliegenpilze (*Amanita muscaria*). Vergleichbare Angaben gibt es aus der Slowakei, wo zwischen 1963 und 1980 insgesamt 59 Personen durch Knollenblätterpilze um Leben kamen und aus Polen, wo zwischen 1953 und 1977 knapp 100 Todesfälle durch *Amanita phalloides* zu beklagen waren.

Spektakuläre Vergiftungsfälle

Von Zeit zu Zeit kommt es immer wieder zu spektakulären Vergiftungsfällen durch Knollenblätterpilze, wie beispielsweise im Jahre 1919 in einem kleinen Ort bei Posen, wo einunddreißig Schulkinder nach dem Verzehr dieser Pilze starben. Ein anderes Beispiel ist ein Unglücksfall, der sich 1975 in Mecklenburg ereignete, und bei dem eine vierköpfige Familie und eine junge Verwandte getötet wurden. Von dieser Tragödie gab der Pilzsachverständige des dortigen Bezirks folgende Darstellung:

Die Familie hatte am Sonntag, dem 17. 8. 1975, Appetit auf ein Pilzgericht. Vater (40 Jahre) und Sohn (17 Jahre) fuhren daher mit dem Motorrad in ein kleines Wäldchen in der Nähe Stralsunds. Ihr Suchen hatte trotz des trockenen Sommerwetters schließlich in einem Eichenbestand Erfolg. Man fand ansehnliche grüne Pilze mit weißen Blättern, Manschette und Stielknolle, die der Vater für Täublinge hielt. Sorgfältig schnitt er die Fruchtkörper dicht über dem Erdboden ab und bedeckte die Knollen mit Erde, damit ‚neue Pilze' wachsen könnten. Stolz kamen die beiden Sammler mit einem kleinen Spankorb der appetitlich aussehenden Pilze nach Hause. Dort hatte die Mutter in der Zwischenzeit mit der Vorbereitung des Mittagessens begonnen. Aufgehalten durch eine Nachbarin brannte ihr das Fleisch an und wurde ungenießbar. Die Pilze wurden daher als willkommener Ersatz sofort geputzt und zubereitet. Dabei kamen dem Vater, einem nicht ganz unerfahrenen Pilzsammler, Bedenken, denn solche Pilze hatte er früher nie genommen, und ganz sicher erschien ihm eine Bestimmung der Täublinge auch nicht. Er sortierte jedoch nur einen verdächtigen Pilz aus. Die übrigen wurden gebraten, serviert und verzehrt. Alle anwesenden Familienmitglieder – Vater, Mutter (40), Tochter (20) und Sohn – sowie eine junge Verwandte als Gast, nahmen an der verhängnisvollen Mahlzeit teil. Am Nachmittag wurde noch bei voller Gesundheit gefeiert, und am Abend fuhr der Gast ahnungslos in seinen Heimatort zurück.

Die Stralsunder Familie erkrankte in der darauffolgenden Nacht gegen 23 Uhr, also nach etwa 10 Stunden. Wegen des dramatischen Verlaufs (dauerndes Erbrechen, Durchfall) wurden alle am Morgen des folgenden Tages in die Klinik aufgenommen … Am 19. August verstarb der Gast im Krankenhaus seiner Heimatstadt. Von der Stralsunder Familie verstarb der

> Sohn am 21. 8., der Vater am 22. 8., die Mutter am 23. 8. und am 24. 8. die Tochter. Zurück blieb eine 13jährige Tochter, die sich zur Zeit des Unglücks im Ferienlager befand. (Schmidt 1977)

Einige Todesfälle durch Pilze gehen aber nicht auf tragische Verwechslungen zurück, sondern haben mit menschlicher Habgier und ähnlich niederen Motiven zu tun. So soll sich der erste bekannt gewordene Fall, bei dem das sehr wirksame Gift des Knollenblätterpilzes für ein Verbrechen benutzt wurde, bereits vor etwa 2000 Jahren in Rom zugetragen haben. Zu dieser Zeit ging es in der Ewigen Stadt wieder einmal drunter und drüber, sodass selbst Mord und Totschlag zur Tagesordnung gehörten. So war Kaiser Caligula (12–41 nach Christus), der kurz zuvor noch sein Pferd zum Konsul ernannt hatte, gerade von einem Prätorianeroberst namens Cassius Chaerea umgebracht worden, den Majestät des Öfteren wegen seiner hohen Stimme gehänselt hatte. Als Nachfolger wurde Claudius (10 vor Christus bis 54 nach Christus) auserkoren, der letzte Überlebende der julisch-claudischen Dynastie und zu dieser Zeit bereits über 50 Jahre alt. Stets kränklich und außerdem sprech- und gehbehindert, hatte die Familie ihn zunächst sorgfältig von allen öffentlichen Ämtern ferngehalten, bis er von seinem Neffen Caligula dann doch noch zum Konsul ernannt worden war (was vermutlich nicht viel zu bedeuten hatte, wenn man an das Pferd denkt).

Trotz seiner körperlichen Schwächen scheint Claudius aber durchaus das Leben eines privilegierten römischen Edelmannes geführt zu haben, wozu auch ein recht ausschweifendes Eheleben gehörte. So heiratete er, nachdem er dafür gesorgt hatte, dass seine dritte, als herrschsüchtig und leichtlebig beschriebene Frau Valeria Messalina zusammen mit ihrem Geliebten hingerichtet wurden, seine Nichte Agrippina – eine Entscheidung, die sich schon sehr bald als Fehler herausstellen sollte. Bereits kurz

nach der Eheschließung gelang es der neuen Kaiserin, ihren Gatten zu überreden, Nero, Agrippinas Sohn aus erster Ehe, zu adoptieren. Damit brachte der Kaiser allerdings seinen eigenen Sohn Britannicus, der jünger war als Nero, um die Erbfolge.

Als Claudius diesen Schritt auf Drängen seiner Berater wieder rückgängig machen wollte, glaubte Agrippina zum Wohle ihres Sohnes handeln zu müssen. Kurz entschlossen entschied sie sich, ihren Gatten umzubringen. Als „Mordwaffe" wurden, nach Rücksprache mit einer bekannten Giftmischerin, Knollenblätterpilze ausgewählt, die man einer Mahlzeit aus ungiftigen und wohlschmeckenden Kaiserlingen (*Amanita caesarea*) beimischte.

Aus Sicht des neutralen Beobachters kann die Wahl der Knollenblätterpilze für diesen Zweck als sehr gelungen bezeichnet werden, da die ersten Vergiftungssymptome ja wegen der langen Latenzzeit nicht gleich erkennbar werden. Das war insofern wichtig, als die Herrscher der damaligen Zeit, die stets mit Anschlägen solcher Art rechneten, einen Vorkoster beschäftigen. Dieser probierte die kaiserliche Mahlzeit, und wenn er anschließend nicht tot umfiel, fühlte sich Majestät einigermaßen sicher, dass das Essen nicht vergiftet war. Aufgrund dieser Vorsichtsmaßnahme schieden bei einem Mordplan die üblichen, schnell wirkenden Gifte aus, da sie ihren Zweck nicht erfüllen konnten, während nach dem Genuss von Knollenblätterpilzen ja zunächst einmal viele Stunden lang überhaupt nichts geschieht. So konnte der in das Komplott eingeweihte Vorkoster, ein wohl in jeder Beziehung als unglücklich zu bezeichnender Eunuch namens Halotus, also auch ohne große Bedenken von dem Mahl kosten, denn sein Risiko war im Vergleich mit der sicherlich fürstlichen Belohnung eher gering, da er die Pilze schon kurz darauf wieder erbrechen konnte, während das Gift im Körper des ahnungslosen Kaisers sein unheilvolles Werk begann.

Als bei Claudius die ersten Symptome der Vergiftung auftraten, ließ er seinen Leibarzt Xenophon kommen, der von der umsichtigen Agrippina aber ebenfalls in das Mordkomplott eingeweiht worden war. Er verabreichte dem Kaiser als „Gegenmittel“ eine zusätzliche Dosis eines schnell wirkenden Giftes, sodass Claudius durch diese „Behandlungsmaßnahme“ den nächsten Tag bereits nicht mehr erlebte. Der Rest ist Geschichte: Nero kam an die Macht und bald darauf stand Rom in Flammen.

Ein weiterer aufsehenerregender Fall, der sich Anfang des letzten Jahrhunderts ereignete und bei dem ebenfalls Knollenblätterpilze Verwendung fanden, ist der des Franzosen Girard. Dieser bemühte sich unter Mithilfe seiner Frau und einer Geliebten die Bekanntschaft wohlhabender Leute zu machen, die etwa so alt waren wie er oder eine der beiden Komplizinnen. Dann schloss er eine Lebensversicherungspolice auf den Namen der potenziellen Opfer ab, wobei allerdings er, seine Frau oder auch seine Mätresse die ärztlichen Untersuchungen über sich ergehen ließen. Nachdem die Versicherungen in Kraft getreten waren, wurden die bedauernswerten Opfer zu einem Pilzessen eingeladen, das sie in der Regel nicht überlebten. Anschließend kassierte das Mördertrio stellvertretend die Versicherungssumme, sodass alle drei bis zu ihrer Entdeckung recht wohlhabend geworden waren.

Girard und seine Komplizinnen flogen auf, als sie für eine einzige Dame Lebensversicherungen bei vier verschiedenen Gesellschaften abschlossen. Die überversicherte Frau verstarb einige Wochen später, woraufhin drei der Versicherungen anstandslos zahlten. Der Vertragsarzt der vierten Gesellschaft wurde allerdings misstrauisch, als er vom Tod der Frau hörte, die er kurz zuvor noch als kerngesund eingestuft hatte. Er beschloss, der Sache auf den Grund zu gehen und fand sehr schnell heraus, dass es sich bei der Toten nicht um die Person handelte, die er untersucht hatte. Der Rest war Routinearbeit der Polizei.

Girard wurde zum Tode verurteilt und hingerichtet, die beiden Frauen bekamen lebenslange Haftstrafen.

Gibt es Gegenmittel?

Obwohl die medizinische Forschung in den letzten Jahrzehnten versucht hat, wirksame Mittel gegen Knollenblätterpilzvergiftungen zu entwickeln, sind die Chancen einer erfolgreichen Behandlung sind immer noch nicht sehr hoch. Wie die Statistik aussagt, führte zwischen 1970 und 1980 etwa ein Viertel der rund 200 in Westeuropa registrierten Vergiftungsfälle durch Amanitin zum Tode. Waren Kinder betroffen, lag die Sterblichkeit sogar bei über 50 Prozent.

Relativ gut haben es in der Regel noch diejenigen getroffen, denen nicht nur Knollenblätterpilze in die Mahlzeit geraten waren, sondern auch andere Giftpilze. Denn wegen der zumeist kurzen Latenzzeit vieler anderer Pilzgifte kommt es in solchen Fällen bereits nach recht kurzer Zeit zu Brechdurchfällen, wodurch auch ein großer Teil der aufgenommenen Knollenblätterpilze auf natürlichem Weg entfernt wird. Außerdem wird wegen des schlechten Allgemeinzustandes normalerweise bereits nach sehr kurzer Zeit ärztliche Hilfe in Anspruch genommen, sodass der Krankheitsverlauf zumeist weniger dramatisch verläuft. Geht die Vergiftung jedoch allein Knollenblätterpilze zurück, kommt häufig jede Hilfe zu spät, denn das Gift beginnt sein zerstörerisches Werk ja bereits, wenn das Opfer noch nicht einmal ahnt, was in seinem Inneren vorgeht.

Selbstverständlich wehrt sich der Körper gegen die Vergiftung, indem er versucht, einen Teil der Amanitine über die Nieren auszuscheiden, aber sobald die Brechdurchfälle einsetzen, wird ihm so viel Flüssigkeit entzogen, dass eine Entgiftung über den Urin nicht mehr stattfinden kann. Daher wird von ärztlicher Seite stets die Aufnahme großer Flüssigkeitsmengen angeordnet, um auf diese Weise nicht

nur den Wasserverlust auszugleichen, sondern auch die Urinproduktion und damit die Nierentätigkeit zu steigern. Gleichzeitig bemüht man sich, weiteres Gift durch Magenspülungen und Abführmittel aus dem Magen-Darm-Trakt zu entfernen, oder man verabreicht Kohlepräparate, um möglichst viel Amanitin zu binden. Weitere Maßnahmen umfassen die Reinigung des Blutes außerhalb des Körpers durch eine künstliche Niere oder durch Kohlefilter.

Als gute Therapie hat sich außerdem eine Behandlung mit Silibinin erwiesen, das aus einer alten Heilpflanze, der Mariendistel (*Silybum marianum*) gewonnen wird und die Amanitinaufnahme in die Leber verhindert, ebenso wie Penizillin G, das man normalerweise als Antibiotikum einsetzt. Allerdings lassen sich mit beiden Substanzen nur dann Erfolge erzielen, wenn sie frühzeitig angewendet werden, weil sie auf bereits in die Zellen gelangtes Gift keine Wirkung mehr haben. Außerdem wird manchmal eine Behandlung mit Thioctsäure durchgeführt, um die Regeneration von Leberzellen zu unterstützen.

Als wirkungslos hat sich dagegen die Empfehlung eines Herrn namens Limousin erwiesen, der rät, im Falle einer Vergiftung sieben rohe Gehirne und drei rohe Mägen von Kaninchen zu essen, da diese Tiere angeblich gegen Amanitin immun sind, was sich in Untersuchungen allerdings als falsch herausstellte. Normalerweise gelingt es den Patienten nicht einmal, den ekelerregenden Brei überhaupt bei sich zu behalten.

Umstritten war lange Jahre auch die Behandlung nach der sogenannten Bastienmethode. Dabei handelt es sich um eine Therapie des französischen Arztes Bastien, mit der dieser schon in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts durchschlagende Erfolge bei der Bekämpfung von Knollenblätterpilzvergiftungen erzielt haben will. Kurz ausgedrückt geht es bei dieser Behandlung um eine Korrektur des Wasserhaushaltes, eine Darmdesinfektion mit Antibiotika, intravenöse Injektionen von Vitamin C, eine

verstärkte Aufnahme von Karotten, die nach Aussage von Bastien in der Lage sind, das Gift unschädlich zu machen und um die Einnahme von Hefekapseln, die die natürliche Darmflora wiederherstellen sollen.

Da ihm die Anerkennung seiner Methode weitgehend versagt blieb, unternahm Bastien im Jahre 1971 einen Selbstversuch, bei dem er eine Menge Knollenblätterpilze aß, die normalerweise ausgereicht hätte, einen erwachsenen Menschen zu töten. Bastien überlebte dieses Experiment und wiederholte seinen Versuch später sogar noch zweimal. Der dritte dieser Selbstversuche fand am 15. 9. 1981 in Genf unter Aufsicht eines Arztes und mehrerer unabhängiger Zeugen statt, und ganz augenscheinlich gab es keine objektiven Gründe, Bastiens Experiment infrage zu stellen, sodass die Diskussionen um diese Methode inzwischen nachgelassen haben. Wird rechtzeitig, also innerhalb von zwei bis vier Stunden nach der Vergiftung mit der von Bastien erarbeiteten Behandlung begonnen, liegt die Genesungschance bei über 90 Prozent. Wie bereits ausgeführt, erfolgen die medizinischen Gegenmaßnahmen wegen der hohen Latenzzeit der Knollenblätterpilzgifte in den meisten Fällen normalerweise allerdings erst sehr viel später. Daher ist es auch unwahrscheinlich, dass jemand, der sich in den Stunden nach einer Pilzmahlzeit nicht nur gesättigt, sondern auch wohlfühlt, einen Arzt oder eine Klinik aufsucht, sodass die Bastientherapie den meisten Knollenblätterpilzopfern nicht wirklich helfen wird.

Weitere Pilze mit Amanitin

In diesem Zusammenhang erscheint es außerdem wichtig, noch einmal ganz ausdrücklich auf die wenig bekannte Tatsache hinzuweisen, dass nicht nur der Grüne (*Amanita phalloides*), der Weiße (*Amanita alba*), der Frühlings-Knollenblätterpilz (*Amanita verna*), der auch Frühlings-Wulstling genannt wird und der Spitzkegelige

Knollenblätterpilz (*Amanita virosa*) schwere Amanitinvergiftungen auslösen können, sondern auch Vertreter anderer Gattungen. Dazu gehören verschiedene Arten von Schirmlingen etwa *Lepiota brunneoincarnata*, *Lepiota castanea*, *Lepiota helveola*, *Lepiota josserandii*, *Lepiota lilacea*, *Lepiota subincarnata* und vermutlich weitere Arten, die noch nicht genauer untersucht wurden. Gefährlich sind Schirmlinge vor allen Dingen deswegen, weil man einige von ihnen unter Umständen leicht mit einem sehr beliebten Speisepilz verwechseln werden kann, dem Parasol oder Riesenschirmling (*Macrolepiota procera*). Eine andere gefährliche Gruppe sind Häublinge, zu denen auch der Gift- oder Nadelholzhäubling (*Galerina marginata*) gehört, der sich leicht mit dem ebenfalls auf Baumstümpfen wachsenden, essbaren Stockschwämmchen (*Kuehneromyces mutabilis*) verwechseln lässt.

Logischerweise besteht der einzige zuverlässige Schutz vor Vergiftungen durch Amanitin in einer genauen Kenntnis der Großpilze – sieht man einmal davon ab, dass es natürlich am ungefährlichsten ist, ganz auf den Genuss selbst gesammelter Pilze zu verzichten. Allerdings ist eine sichere Pilzbestimmung nicht immer einfach. So werden für eine genaue Diagnose häufig Sporenmerkmale benötigt, und dazu ist nicht nur ein Mikroskop erforderlich, sondern zumeist auch sehr viel Erfahrung. Aus diesem Grunde sollte man im Zweifelsfall immer die Hilfe eines Fachmanns in Anspruch nehmen, also beispielsweise eine Pilzberatungsstelle aufsuchen, die im Spätsommer und Herbst in vielen Städten und Gemeinde eingerichtet werden. Oberstes Gebot ist und bleibt aber für alle Pilzliebhaberinnen und Pilzliebhaber: Gib Amanitin keine Chance! Lassen Sie zweifelhafte Kandidaten also unbedingt dort stehen, wo Sie sie gefunden haben.

Saft-, Täub-, Schleier- und andere Fieslinge

Folgt man dem Ratschlag des römischen Dichters Seneca (4 vor Christus bis 65 nach Christus), dann sollte man eher darauf achten, mit wem man isst und trinkt, als was man isst und trinkt. Pilzsammler sollten dieser Empfehlung allerdings mit einer gehörigen Portion Skepsis begegnen, und das gilt auch für diejenigen, die sicher sind, die gefährlichen Knollenblätterpilze genau zu kennen, denn es gibt neben den Amanitin enthaltenen Arten noch eine ganze Reihe weitere Pilze, vor denen man sich ebenfalls hüten muss.

Der Pantherpilz

Eine dieser Arten ist der Pantherpilz (*Amanita pantherina*), durch den es von Zeit zu Zeit sogar immer wieder einmal zu tödlichen Vergiftungen kommt, nicht zuletzt, weil er eine gewisse Ähnlichkeit mit dem essbaren Perlpilz (*Amanita rubescens*) und anderen ungiftigen Vertretern hat. Der Pantherpilz gehört, wie sich man wissenschaftlichen Namen unschwer erkennen lässt, in dieselbe Gattung wie der gefürchtete Grüne Knollenblätterpilz, enthält aber völlig andere Giftstoffe, nämlich Ibotensäure, Muscimol, Muscazon und vermutlich noch eine Reihe weiterer Toxine.

Wie gefährlich die Art ist, kann man auch daraus ersehen, dass es 1934 in der Gegend von Plauen sogar einmal zu einer regelrechten Massenvergiftung kam, bei der im Verlauf des Spätsommers 75 Personen ins Krankenhaus eingeliefert werden mussten. Die bei den Opfern auftretenden Symptome wurden wie folgt geschildert:

Der Krankheitsverlauf sämtlicher Vergifteten bot überall das gleiche Bild: Bei Beginn der Vergiftung verspürten die Erkrankten meist eine eigenartige Beklommenheit, dann Schwindelgefühl, Kopfschmerzen und Ohrensausen. Plötzlich fühlten sie, dass sie ihren Körper nicht mehr in der Gewalt hatten. Sie ließen den Gegenstand fallen, den sie gerade in der Hand hielten, knickten zusammen und lagen hilflos auf dem Boden. Wohl denen, die nun Erleichterung fanden durch Erbrechen des Mageninhaltes! Ihnen blieb Schweres erspart! Aber leider fehlten in vielen Fällen (in 15!) die so wichtigen Magen- und Darmentleerungen. Durchfall stellte sich nur bei 2 Vergifteten ein. Bei den anderen steigerten sich die Schwindelanfälle und übrigen Krankheitserscheinungen. Die Gleichgewichtsstörungen gingen so weit, dass die Erkrankten wie betrunken umhertaumelten. Einige wurden daher von Bekannten und selbst von den eigenen Familienangehörigen verlacht und verspottet, bis sie plötzlich leblos am Boden lagen und ihr Körper in krampfartigen Bewegungen zu zucken und beben begann. Das steigerte sich bei einigen derart, dass sie wie toll um sich schlugen und Leib und Brust mit den Fäusten bearbeiteten. Eine Frau wütete und tobte im Krankenwagen so sehr, dass sie darin die Bettwäsche zerriss. Dann wurden ihr die Glieder steif und starr, sie konnte nur mehr ein krampfhaftes Lallen von sich geben und ließ nahezu zwei Stunden lang Wasser unter sich. (John 1935)

Muscarin in Risspilzen und Trichterlingen

Gefährliche Vergiftungen können aber auch Pilze hervorrufen, die Muscarin enthalten, etwa Risspilze und Trichterlinge. Früher galt vor allem der Fliegenpilz, der in Kapitel 6 noch ausführlich behandelt wird, als häufiger

Verursacher von Muscarinvergiftungen, bis man herausfand, dass er dieses Gift nur in sehr geringen Mengen (0,0002–0,0016 Prozent) enthält, während sich beispielsweise beim Ziegelroten Risspilz (*Inocybe patouillardi*) eine bis zu 360-mal höhere Konzentration nachweisen lässt.

Da es sich beim Muscarin um ein Nervengift handelt, treten die typischen Symptome – kalter Schweiß, Übelkeit, Pupillenverengung, Sehstörungen, niedriger Blutdruck, langsamer Puls, Atemnot, Bauchkoliken und Erbrechen – zumeist schon sehr schnell (wenige Minuten bis zwei Stunden) nach dem Genuss der Pilze auf. Zurückzuführen sind sie darauf, dass Muscarin eine große strukturelle Ähnlichkeit mit Acetylcholin hat, einer Substanz, die der menschliche Körper zur Übertragung der Impulse zwischen einzelnen Nervenzellen beziehungsweise zwischen Nerven- und Muskel- oder Drüsenzellen benutzt. Isst man giftige Risspilze, befinden sich plötzlich große Mengen des acetylcholinähnlichen Stoffes im Körper, sodass es zu Nerven- oder Drüsenreizungen kommt, für die überhaupt kein äußerer Anlass besteht. Verstärkt wird das Problem dadurch, dass Muscarin – im Gegensatz zum Acetylcholin – nicht durch körpereigene Enzyme abgebaut werden kann und daher Dauererregungen verursacht, etwa im Bereich des Darmes oder der Schweißdrüsen. Die Folge sind Krämpfe oder ständige Schweißausbrüche, und unter Umständen kann es durch diese Überfunktionen sogar zu einem Lungenödem oder zu Herzversagen kommen.

Muscarinvergiftungen werden durch zahlreiche Risspilze (*Inocybe*) und Trichterlinge (*Clitocybe*) verursacht. Besonders häufig sind Unfälle hier darauf zurückzuführen, dass der ungiftige Mairitterling (*Calocybe gambossa*) und der Ziegelrote Risspilz verwechselt werden.

Die Orellanine der Haarschleierlinge

Im Gegensatz zur Muscarinvergiftung haben Intoxikationen, die durch den Orangefuchsigen Hautkopf (*Cortinarius orellanus*) und einige andere Haarschleierlinge verursacht werden, eine ungewöhnlich lange Latenzzeit. Hier treten die Beschwerden häufig erst nach acht bis 14 Tagen auf und werden dann natürlich kaum noch mit der weit zurückliegenden Pilzmahlzeit in Verbindung gebracht.

Lange Zeit galten Haarschleierlinge sogar als harmlos. Erst als 1952 in Polen bei einer Massenvergiftung durch den Orangefuchsigen Hautkopf mehr als 100 Menschen erkrankten, von denen elf starben, beschäftigte man sich näher mit diesen Pilzen. Heute weiß man, dass Haarschleierlinge eine Reihe von Giften enthalten, die unter dem Sammelbegriff Orellanine geführt werden. Sie können im Extremfall schwere Nierenschäden hervorrufen, sodass häufig der Einsatz einer künstlichen Niere oder gar eine Nierentransplantation erforderlich wird.

Magen-Darm-Gifte

Neben den Arten, die sehr schwere Vergiftungen verursachen können, gibt es aber auch eine Reihe von Giftpilzen, deren Genuss weniger dramatische, aber dennoch unangenehme Folgen hat. Das gilt insbesondere für solche Arten, die eine sogenannte gastrointestinale Intoxikation verursachen, also eine durch den Verzehr von Pilzen hervorgerufene Störung der Verdauungsfunktionen. Die Latenzzeit ist normalerweise recht kurz, sodass häufig schon nach 15 Minuten die ersten Brechdurchfälle einsetzen, die ein bis zwei Tage andauern können. Begleiterscheinungen sind oft Angstzustände, starker Speichelfluss und Schweißausbrüche. Bei schwereren Vergiftungen kommt es manchmal auch zu Muskelkrämpfen oder Kreislaufstörungen.

Obwohl Vergiftung dieser Art vergleichsweise häufig sind, ist über die chemische Struktur der dafür verantwortlichen

Toxine dennoch nur wenig bekannt. Vermutlich handelt es sich um eine Reihe verschiedener Toxine, die alle eine ähnliche Wirkung haben. Verursacher des gastrointestinalen Pilzsyndroms sind bestimmte Täublinge (*Russula*), Milchlinge (*Lactarius*), Schleierlinge (*Cortinarius*), Rötlinge (*Entoloma*), Ritterlinge (*Tricholoma*) und Saftlinge (*Hygrocybe*), aber auch der Karbol-Egerling (*Agaricus xanthodermus*), ein Verwandter des Wiesenchampignons (*Agaricus campester*), dem er auch recht ähnlich sieht sowie der Satanspilz (*Boletus satanas*), der in dieselbe Gattung gehört wie der Steinpilz (*Boletus edulis*). Eine Reihe weiterer Pilze gilt als verdächtig, Vergiftungen dieser Art hervorzurufen, sodass dieser Liste in Zukunft sicher weitere Arten hinzugefügt werden müssen.

Allerdings muss nicht jede Übelkeit oder jedes Erbrechen nach einer Pilzmahlzeit auf giftige Pilze zurückzuführen sein. Oft ist ein übermäßiger Genuss der nicht leicht zu verdauenden Mahlzeit oder schlechtes Kauen die Ursache für auftretende Beschwerden; außerdem gibt es Menschen, denen ein bestimmtes Enzym, die Trehalose, im Magensaft fehlt, sodass es dem Körper nicht möglich ist, Trehalosezucker, den Pilze in erheblichen Mengen enthalten, abzubauen. Daher führt ein Pilzgenuss bei diesen Menschen ebenfalls häufig zu Verdauungsbeschwerden.

Der Antialkoholikerpilz

Eine ganz andere Art der Unverträglichkeit kann dagegen beim Verzehr von Tintlingen (*Coprinus*) in Verbindung mit Alkohol auftreten. Dabei kommt es bereits wenige Minuten nach dem Alkoholgenuss zu einer deutlichen Rötung der Haut, hauptsächlich im Bereich des Gesichtes, des Halses und der Brust; weitere Symptome sind ein starkes Hitzegefühl, Schweißausbrüche, Schwindel, Atemnot, Angstzustände, Herzrhythmusstörungen und ein Absinken des Blutdrucks bis hin zu einem Kollaps.

Diese zunächst ungewöhnlich erscheinende Reaktion des Körpers lässt sich jedoch relativ leicht erklären: Der Grund ist eine sogenannte Aldehydvergiftung. Sie kommt dadurch zustande, dass das Gift dieser Pilze, das sogenannte Coprin, den Alkoholabbau nicht mehr bis zur Essigsäure zulässt, wie es unter normalen Umständen der Fall ist, sondern ihn auf der Stufe des Acetaldehyds unterbricht. Bekannt ist dieses Phänomen auch als Antabusreaktion, wobei der Begriff Antabus auf ein Medikament zurückgeht, das bei Alkoholentziehungskuren zur Anwendung kommt, und dabei vergleichbare Symptome hervorruft. (Auch der „Kater“ am Morgen danach geht auf Aldehyde zurück, die noch nicht vollständig abgebaut wurden.)

In einem bekannt gewordenen Fall waren sogar Kühe von dieser Art Vergiftung betroffen. Sie hatten zusammen mit ihrem Grünfutter auch Faltentintlinge (*Coprinus atramentarius*) gefressen und davon starke Blähungen bekommen. Daraufhin griff der Bauer zu einem altbewährten Hausmittel: Er verabreichte den Tieren selbst gebranntes Kirschwasser und tat damit das Verkehrteste, was er tun konnte. Die Kühe bekamen eine Aldehydvergiftung und mussten notgeschlachtet werden.

Körperliche Schäden kann man sich aber nicht nur mit Giften zufügen, die von den Pilzen selbst produziert werden, sondern auch mit Substanzen, die diese aus der Umgebung aufnehmen. Hier sind besonders einige Schwermetalle zu nennen, die von vielen Speisepilzen, im Gegensatz zu den meisten Pflanzen und Tieren, oft regelrecht angereichert werden. Die Fähigkeit zu einer solchen Akkumulation ist artspezifisch und kann im Extremfall über 300fach erhöhte Konzentrationen erreichen.

Dies gilt besonders für das sehr gesundheitsschädliche und vermutlich auch krebserregende Kadmium, das in der Industrie hauptsächlich als schützender Metallüberzug und in Legierungen verwendet wird. Schon bei einer einzigen Mahlzeit, beispielsweise aus Exemplaren des Großsporigem

Riesenchampignon (*Agaricus macrocarpus*), der zu den stark anreichernden Arten gehört, kann der von der Weltgesundheitsbehörde empfohlene Grenzwert von 0,5 Milligramm Kadmiumaufnahme pro Woche um das Zehnfache überschritten sein. Ein häufiger Genuss derart belasteter Pilze führt im Laufe der Zeit zwangsläufig zu einer Akkumulation im Körper und damit irgendwann zu Magen-, Darm-, Leber-, Nieren- oder Knochenschädigungen. Pilze können aber auch durch Blei, Quecksilber und andere Schwermetalle vergiftet sein, sodass man an besonders belasteten Standorten wie Müllverbrennungsanlagen oder Metallhütten auf das Sammeln verzichten sollte.

Vor der Anreicherung radioaktiver Substanzen durch Pilze muss ebenfalls gewarnt werden, denn bedingt durch die zumeist große Ausdehnung ihres Myzels und die relativ hohen Stoffwechselraten, können einige Arten eine starke Strahlenbelastung aufweisen. Das wurde besonders nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986 deutlich, als in bestimmten Pilzen stark erhöhte Konzentrationen der Radionuklide ^{131}Jod sowie ^{134}Cäsium und ^{137}Cäsium festgestellt wurden. Wegen der kurzen Halbwertszeiten (8 Tage beim ^{131}Jod; 2 Jahre beim ^{134}Cäsium) spielen die beiden erstgenannten Substanzen inzwischen keine Rolle mehr. Das ^{137}Cäsium hat dagegen eine Halbwertszeit von 30 Jahren und belastet unsere Umwelt daher bis heute. Allerdings gehen die meisten Experten davon aus, dass Speisepilze, sofern sie in Maßen genossen werden, auch nach der Katastrophe von Tschernobyl inzwischen kein besonderes Gesundheitsrisiko mehr darstellen.

Unheilvolle Gutgläubigkeit

Abschließend soll an dieser Stelle noch auf ein Problem hingewiesen werden, das von vielen Pilzsammlern häufig übersehen wird – mit möglicherweise unabsehbaren Folgen.

Gemeint ist die unterschiedliche Einschätzung der Giftigkeit bestimmter Pilze in verschiedenen Pilzbüchern. Als Beispiel kann die Frühjahrslorchel (*Gyromitra esculenta*) dienen, ein Pilz, der lange als essbar galt und in vielen Pilzführern immer noch nicht deutlich genug als außerordentlich gefährlich gekennzeichnet ist. Dabei endeten von den 600 der in den letzten 200 Jahren bekannt gewordenen Vergiftungen durch die Frühjahrslorchel immerhin 20 Prozent tödlich.

Die Unsicherheit im Zusammenhang mit der Genießbarkeit dieses Pilzes kommt schon in der unterschiedlichen Namensgebung zum Ausdruck, denn der Pilz heißt nicht nur Frühjahrslorchel, sondern sowohl Gift- als auch Speiselorchel, und die wissenschaftliche Bezeichnung *esculenta* (lateinisch „esculentus“ = essbar) trägt ebenfalls zur Verwirrung bei. Dabei ist inzwischen nachgewiesen, dass dieser Pilz ein Gift namens Gyromitrin enthält, durch das starke Schädigungen des Nervensystems oder der Leber hervorrufen werden können, sodass die Überlebenschancen bei schweren Gyromitrinvergiftungen kaum günstiger sind, als bei Vergiftungen mit dem Grünen Knollenblätterpilz.

Zwar wird der Genuss der Frühjahrslorcheln in der neueren Literatur nicht mehr direkt angeraten (auch der Verkauf dieser Pilze ist inzwischen gesetzlich untersagt), aber man würde sich in einigen Fällen einen deutlicheren Hinweis auf die Gefährlichkeit dieses Pilzes wünschen und nicht Ausführungen wie: „… junge Fruchtkörper [sind] essbar“ oder „Es ist immer noch umstritten, ob die Frühjahrslorchel essbar ist oder nicht…“.

Dass die Giftigkeit der Frühjahrslorchel so umstritten ist hat verschiedene Gründe. So scheint der Gehalt an Gyromitrin bei einzelnen Exemplaren recht unterschiedlich zu sein, denn bei Untersuchungen stellte sich heraus, dass einige Pilze fünf- bis sechsmal mehr Gift enthielten als andere. Außerdem ist Gyromitrin in Wasser löslich, sodass bei der Zubereitung zumeist ein Teil des Giftes eliminiert

wird. Allerdings ist selbst ein sorgfältiges Abkochen keine verlässliche Methode ist, um das Gift vollständig zu entfernen! Zu weiteren Schwankungen kann es dadurch kommen, dass Gyromitrin eine sehr flüchtige Substanz ist, mit dem Ergebnis, die bei längerer Lagerung oder beim Trocknen der Pilze teilweise entweichen kann. Allerdings ist auch ein gewissenhaftes Trocknen keine Gewähr für die Entgiftung der Frühjahrslorchel!

Wem der Appetit auf diese Pilze bisher noch nicht vergangen ist, dem sei noch gesagt, dass sich das Gyromitrin bei mehrfachem Genuss der Frühjahrslorchel im Körper anreichern kann und dass einige Abbauprodukte des Giftes, die bei der Verdauung im Darmtrakt entstehen, als stark krebserregend gelten. Daher muss sehr dringend davon abgeraten werden, Pilze zu essen, von denen es heißt, ihre Giftigkeit sei umstritten.

Das gilt auch für den Kahlen Krempling (*Paxillus involutus*), dessen Gefährlichkeit von vielen Pilzsammlern ebenfalls angezweifelt wird. Dennoch kann es nach dem Genuss dieses Pilzes nicht nur zu Erbrechen, Durchfall und Bauchkoliken kommen, sondern außerdem zu gefährlichen Nierenschäden. Besonders heimtückisch ist aber die Langzeitwirkung bei wiederholtem Genuss, da der Kahle Krempling eine Substanz enthält, die der Körper als fremdartig einstuft, sodass er zur Abwehr Antikörper bildet. Deren Anzahl nimmt bei jeder weiteren Mahlzeit zu, bis es dann irgendwann zu einem Zerfall der roten Blutkörperchen kommt. Daher kann auch vor dem Genuss dieses Pilzes nur ausdrücklich gewarnt werden.

Ein weiterer Fluch der Pharaonen

Mit den bisher behandelten giftigen Arten ist die Reihe der Pilze, die Mensch und Tier gefährlich werden können, aber noch lange nicht erschöpft. Vielmehr existieren neben den auffälligen Großpilzen noch eine ganze Reihe winziger pilzlicher Organismen, die normalerweise weitaus weniger Beachtung finden. Dazu gehören auch die Schimmelpilze, jene schwarzen, grünen, grauen oder weißen Überzüge, die wohl jeder schon einmal auf alten Nahrungsmitteln gesehen hat, und unter denen es Arten gibt, die ebenfalls Gifte produzieren, die bereits in geringen Mengen außerordentlich wirksam sind.

Schimmelpilze waren schon unseren Vorfahren gut als Lebensmittelverderber bekannt, denn bereits im Althochdeutschen gibt es das Wort „scimabalag“ (kahmig werden), aus dem später „schimel“ und im Neuhochdeutschen „Schimmel“ wurde. Heute bezeichnet man mit dem weit gefassten Begriff Schimmel solche Pilzarten, die auf bestimmten Substraten, häufig Nahrungsmitteln, einen watteartigen Überzug bilden, meint also keine bestimmte taxonomische Gruppe.

Wo feuchte Bedingungen herrschen, wachsen Schimmelpilze besonders gut. Daher finden wir sie oft auf Lebensmitteln des täglichen Bedarfs, die wir normalerweise so aufbewahren, dass ein Austrocknen verhindert wird. Für den Befall reicht es häufig aus, wenn auch nur ein einziger Keim auf einen geeigneten Nährboden fällt, denn viele dieser kleinen Pilze vermehren sich durch Konidien (siehe Kapitel 1). Diese asexuellen Sporen werden in sehr großer Zahl gebildet, um dann unter günstigen Bedingungen schnell auszukeimen und ein neues Mycel zu bilden. Dadurch ist es Schimmelpilzen möglich, sich in sehr kurzer Zeit auf einem Substrat auszubreiten, sodass etwa ein

Brotlaib schnell von einem dichten Rasen überzogen sein kann. Einige Arten, beispielsweise der zu den Zygomyceten gehörende Pilz *Rhizopus stolonifer*, beschleunigen diesen Vorgang noch dadurch, dass sie lange Laufhyphen bilden, die man etwa mit den Ausläufern der Erdbeeren vergleichen kann. Zu den Nahrungsmitteln, die besonders häufig von Schimmelpilzen befallen werden, gehören Roggen-, Weizen- oder Maisprodukte, aber auch Reis, Sojabohnen, Mandeln, Erd-, Hasel- und Walnüsse, ebenso wie Milchprodukte, Eier, Leber, Niere oder verschiedene Säfte. Und sogar Wein kann – in seltenen Fällen – von Schimmelpilzen verdorben werden.

Glücklicherweise löst die äußerliche Veränderung der Lebensmittel durch Schimmelpilze bei den meisten Menschen eine so starke Abscheu aus, dass sie die verdorbene Nahrung fortwerfen. Damit tun sie etwas sehr Kluges, denn es reicht in vielen Fällen nicht aus, ein befallenes Nahrungsmittel vom Schimmel zu säubern, weil nicht die Pilze selbst giftig sind, sondern bestimmte Stoffwechselprodukte, sogenannte Mykotoxine (Schimmelpilzgifte), die in das Substrat abgegeben werden. Daher können sie bei der Entdeckung der verschimmelten Stelle bereits weit in die Lebensmittel eingedrungen sein, sodass der beabsichtigte Effekt, die schädlichen Substanzen zu entfernen, nicht erreicht wird.

Allerdings scheint die Gefährdung bei verschiedenen Lebensmitteln etwas unterschiedlich zu sein. Wie Versuche gezeigt haben, kann verschimmeltes Brot durchaus noch genießbar sein, wenn man die schimmelige Stelle großzügig herausschneidet, da sich die Giftstoffe in dem mit unzähligen Hohlräumen ausgestatteten Nahrungsmittel nicht gut ausbreiten können. Ähnliches soll auch für Äpfel gelten, aber beispielsweise nicht für die sehr viel saftigeren Pfirsiche, Pflaumen, Birnen oder Tomaten, bei denen die Schadstoffe mit der Flüssigkeit häufig bereits in weiter entfernte Bereiche gelangt sind.

Da man als Laie in vielen Fällen nicht erkennen kann, ob der auf Lebensmitteln wachsende Schimmelpilze tatsächlich Mykotoxine bilden und ob sich das Gift möglicherweise schon weiter ausgebreitet hat, sollte man bei Verwendung von verschimmelten Nahrungsmitteln in jedem Fall eine gewisse Vorsicht walten lassen. Dies gilt umso mehr, als sich die zumeist niedermolekularen, aromatischen Substanzen in der Regel nicht durch Kochen zerstören lassen, und sie rufen auch keine Immunreaktion hervor, sodass auch körpereigene Abwehrmechanismen ebenfalls nicht wirksam werden können.

Gefährlich sind Mykotoxine aber auch, wenn sie auf Umwegen in den Körper gelangen. Das kann über Fleischmahlzeiten geschehen, denn Haustiere bauen einmal aufgenommene Mykotoxine nur sehr schlecht ab. Wurde also Schlachtvieh unbeabsichtigt oder aus Gewinnsucht mit verunreinigtem Futter gemästet, kann sich das Gift in ihrem Fleisch stark angereichert haben und so unbemerkt auch in den menschlichen Körper gelangen.

Eine Entgiftung von verunreinigten Futtermitteln ist zwar grundsätzlich möglich, aber bisher immer noch die absolute Ausnahme, nicht zuletzt deswegen, weil schon der Nachweis vieler Mykotoxine außerordentlich schwierig ist. Daher wird in der Regel versucht, die Futtermittel so zu verarbeiten und zu lagern, dass ungünstige Bedingungen für das Wachstum von Pilzen vorherrschen. Außerdem gibt es seit einigen Jahrzehnten genaue Verordnungen der Gesundheitsbehörden, in denen die zulässige Höchstbelastung durch bestimmte Mykotoxine in Lebens- und Futtermitteln festgeschrieben ist, sodass bei Beachtung der Vorgaben eine Gefährdung des Verbrauchers weitgehend ausgeschlossen sein sollte.

Massenvergiftungen durch Mykotoxine

Trotz ihres zumeist unappetitlichen Erscheinungsbildes hat es in der Vergangenheit aber dennoch immer wieder Massenvergiftungen durch Schimmelpilze gegeben, besonders dann, wenn den Menschen nicht ausreichend hochwertige Nahrungsmittel zur Verfügung standen. Regelrechte Katastrophen ereigneten sich in den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts in Russland, wo die Menschen Getreide gegessen hatten, das den Winter über unter Schnee begraben gewesen war. Durch die für Pilze idealen feuchten Bedingungen waren nahezu alle Getreidekörner befallen worden, sodass sich Tausende von Menschen vergifteten, von denen viele starben. Verantwortlich war dafür vermutlich ein T-2 genanntes Toxin, das besonders von Schimmelpilzen der Gattungen *Fusarium* oder *Trichoderma* gebildet wird.

Aber auch bei Haustieren sind Vergiftungen mit diesem Toxin schon seit längerer Zeit bekannt. Die betroffenen Tiere fühlen sich dann häufig matt, zeigen einen schwankenden Gang und verweigern die Nahrungsaufnahme, sodass viele von ihnen sterben. Weltweites Aufsehen erregte allerdings erst der Ausbruch der sogenannten „Turkey-X-Disease“, der 1960 in England über 100.000 junge Truthähne zum Opfer fielen und fast zur gleichen Zeit in den USA über eine Million Zuchtforellen. Aufgerüttelt durch diese beträchtlichen wirtschaftlichen Verluste, begann man nach der Ursache der geheimnisvollen Seuche zu fahnden und wurde schon bald fündig. Der Grund waren aus Brasilien stammende proteinreiche Pressrückstände von Erdnüssen, die man Futtermitteln beigemengt hatte. Diese waren allerdings während ihrer Lagerung von einem Pilz namens *Aspergillus flavus* befallen worden, und der hatte ein Gift produziert, das den Tod der unzähligen Tiere hervorgerufen hatte. In Anlehnung an den Namen des „verantwortlichen“ Pilzes (*Aspergillus flavus*) wurde diese Substanz Aflatoxin genannt.

Inzwischen weiß man eine ganze Menge über diese Substanz. So wirkt sie nicht nur als tödliches Gift, sondern

ist außerdem bereits in sehr geringen Konzentrationen stark krebserregend. Tatsächlich handelt es sich sogar um eines der stärksten, von lebenden Organismen produzierten Karzinogene, das man mit der Nahrung aufnehmen kann. Wie sich in Tierversuchen mit Ratten gezeigt hat, reicht bereits eine Menge von zehn Mikrogramm (0,00001 Gramm) Aflatoxin pro Kilogramm Körpergewicht aus, um Krebs hervorzurufen.

Ähnliches gilt für andere Wirbeltiere und vermutlich auch für den Menschen.

Aspergillus flavus ist ein außerordentlich anspruchsloser Pilz, der praktisch auf allen Lebensmitteln wächst, gleichgültig ob es sich um Früchte, Getreide, Fleisch (selbst gesalzener und geräucherter Schinken bleibt nicht verschont) oder um Obstsäfte handelt. Die tödliche Dosis wird für den Menschen auf ein bis zehn Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht geschätzt; zur Erhöhung des Krebsrisikos reichen vermutlich sehr viel geringere Mengen.

Der Fluch der Pharaonen

Wegen ihrer gesundheitsschädigenden Eigenschaften werden Schimmelpilze aus der Gattung *Aspergillus* aber auch mit dem sogenannten „Fluch der Pharaonen“ in Verbindung gebracht. Diese geheimnisvolle Verwünschung, die unter den Ausgräbern von Pharaonengräbern schon mindestens drei Dutzend Opfer gefordert haben soll, beschäftigt die Fantasie der Menschen bereits seit der Entdeckung des Grabes Tutanchamuns durch Howard Carter im Jahre 1922. Damals soll in der Vorkammer dieser Begräbnisstätte eine kleine Tontafel gefunden worden sein, deren Inschrift lautete: „Der Tod wird den mit seinen Schwingen erschlagen, der die Ruhe des Pharaos stört.“ Im Gegensatz zu den anderen Gegenständen, die man dort ans Tageslicht brachte, wurde sie allerdings nie fotografiert, und sie ist, wie es sich für eine solche Geschichte wohl gehört,

inzwischen auch verschollen. Aber als kurz darauf 13 der insgesamt 20 Mitarbeiter, die an dieser Ausgrabung beteiligt waren, auf teilweise mysteriöse Art und Weise ums Leben kamen, begannen die wildesten Theorien zu kursieren. So gab es Vermutungen, die Pharaonengräber seien von ihren Erbauern durch Nervengifte, krankheitserregende Bakterien, radioaktive Substanzen oder eine Akkumulierung kosmischer Strahlen, die man angeblich durch die Form der Pyramiden erreichte, geschützt worden.

Anfang der 60er Jahre fügte der ägyptische Mediziner und Biologe Ezzeddin Taha von der Universität Kairo den zahlreichen Spekulationen eine weitere Variante hinzu. Zuvor hatte er über einen längeren Zeitraum zahlreich Archäologen und Museumsmitarbeiter untersucht und bei diesen eine ganze Reihe pilzlicher Krankheitserreger diagnostiziert, darunter auch *Aspergillus*-Arten.

> „Diese Entdeckung“, erklärte Doktor Taha, „hat ein für allemal den Aberglauben zerstört, dass die in antiken Gräbern arbeitenden Forscher durch eine Art Verwünschung den Tod fanden. Die Wissenschaftler wurden das Opfer von Krankheitserregern, mit denen sie bei der Arbeit in Berührung kamen. Zwar glaubt auch heute noch mancher, dass dem Fluch der Pharaonen übernatürliche Kräfte zuzuschreiben seien, aber das gehört in das Reich der Märchen.“ (Vandenberg 1988)

Tatsächlich lassen sich in ägyptischen Grabkammern häufig Pilzsporen nachweisen, was nicht weiter verwunderlich ist, da man den toten Pharaonen normalerweise Nahrungsmittel für ihre Reise ins Jenseits mitgab, auf denen Schimmelpilze bekanntlich gut wachsen. Außerdem weiß man, dass Pilzsporen durchaus sehr lange Zeiträume in einer Art Ruhestadium überdauern können, sodass diese Theorie nicht ohne Weiteres von der Hand zu weisen war.

Taha konnte diese Spur allerdings nicht weiter verfolgen, denn kurze Zeit nach der Bekanntgabe seiner Vermutungen war er selbst nicht mehr am Leben.

> „Es geschah auf der Wüstenstraße Kairo/Suez. Der schwarze Asphaltstreifen verläuft schnurgerade durch die trostlose ockerfarbene Wüstenlandschaft. Auf dieser Wüstenstraße herrscht wenig Verkehr. Wenn sich zwei Autos begegnen, winkt man sich freundlich zu… Etwa siebzig Kilometer nördlich von Kairo passierte es: Tahas Wagen scherte auf der völlig geraden Straße plötzlich in einem Bogen nach links aus – genau auf ein entgegenkommendes Auto zu. Es kam zum Zusammenstoß: Taha und seine beiden Mitarbeiter waren auf der Stelle tot, die Insassen des anderen Fahrzeugs wurden schwer verletzt.“ (Vandenberg 1988)

Der Fluch der Pharaonen hatte ganz augenscheinlich weitere Opfer gefordert.

Unterstützung erfuhr Tahas Theorie übrigens durch eine Untersuchung, die 1973 in Krakau stattfand. Kurze Zeit, nachdem die Gruft des polnischen Königs Kasimir IV. (1427–1492) und seiner Frau Elisabeth von Habsburg (1437–1505) geöffnet worden war, um den Zustand der Leichname zu überprüfen, starben zwölf Personen, die an dieser Aktion beteiligt gewesen waren, unter rätselhaften Umständen. Als man daraufhin die in der Grabkammer vorhandenen Mikroorganismen isolierte, fand man – neben einigen Bakterienarten – auch Pilze, darunter *Aspergillus flavus* und einige andere Arten dieser Gattung.

Es ist also nicht völlig auszuschließen, dass der Tod einiger Ausgräber der letzten Ruhestätte Tutanchamuns tatsächlich durch Schimmelpilze verursacht wurde, denn es gibt eine Reihe von Giften, die dafür infrage kommen. So kennt man bis heute etwa 150 unterschiedliche Mykotoxine, die von ungefähr 200 verschiedenen Schimmelpilzarten gebildet

werden, und deren chemische Struktur ebenso variabel ist wie ihre Wirkung. Viele dieser Substanzen gelten als karzinogen, andere fungieren als Zell- oder Nervengifte, beeinflussen die Funktion des Immunsystems oder können, zumindest bei Tieren, zu Wachstumsstörungen oder zu Unfruchtbarkeit führen. So legten Hühner, deren Futter geringe Mengen des Schimmelpilzgiftes Ochratoxin enthielt, beispielsweise ein Jahr lang keine Eier mehr.

Pilzasthma

Daneben gibt es aber auch noch andere, durch Schimmelpilze ausgelöste Krankheiten. Werden Konidien in größeren Mengen eingeatmet, beispielsweise bei der Arbeit mit verschimmeltem Heu, bei der Tätigkeit in Bergwerken, in denen *Aspergillus*-Arten oft in großen Mengen an feuchtem Grubenholz wachsen oder beim Ausladen von Schiffen, die Nahrungsmittel, etwa Bananen, transportierten haben, von denen häufig ein Teil verschimmelt ist, kann es Vorkommen, dass Antikörper gegen die Sporen gebildet werden und sich dadurch eine berufsbedingte Krankheit entwickelt. Außerdem gibt es mit *Aspergillus fumigatus* eine Art, die für Menschen mit geschwächtem Immunsystem sehr gefährlich werden kann. Zwar amten wir alle pro Tag durchschnittlich 800 Sporen dieses Pilzes ein, was den meisten von uns aber nicht schadet, weil das Immunsystem mit den Eindringlingen fertig wird, bevor sie sich zu einer Gefahr entwickeln können, denn körpereigene Makrophagen beseitigen die Pilzsporen und reinigen auf diese Weise die Lungenalveolen. Ist das Immunsystem jedoch geschwächt, beispielsweise als Folge einer Behandlung mit Zytostatika oder Immunsuppressiva, können die Pilzsporen keimen und in der Lunge ein Myzel bilden. Die Folge eines solchen Befalls ist zumeist ein trockener blutiger Husten, verbunden mit zunehmender Ateminsuffizienz, und häufig endet eine solche Mykose sogar mit dem Tod.

Aber selbst die Immunreaktion gesunder Menschen kann bei sehr hoher Dichte von Schimmelpilzsporen in der Luft überfordert sein. Daher ist es also nicht völlig auszuschließen, dass tatsächlich Schimmelpilze für das plötzliche Ableben von einigen der Ausgräber der ägyptischen Grabstätten verantwortlich sind, was sich aber vermutlich ebenso wenig beweisen lassen wird, wie die so viel spektakulärere Geschichte mit dem Fluch.

Gefährliche Fototoxine

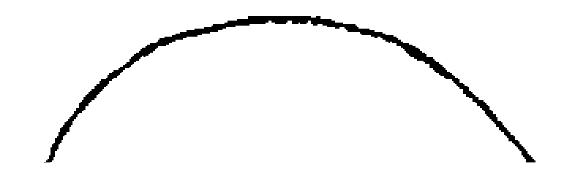
Eine ganz andere Art der Schädigung wird dagegen von einem Schimmelpilz mit dem wissenschaftlichen Namen *Sclerotina sclerotiorum* verursacht, den man häufig an feuchten Kellerwänden findet, von wo er auf leicht auf eingelagertes Wurzelgemüse übergreift. Besonders auffällig ist ein solcher Befall bei Sellerieknollen, auf denen sich schon bald nach der Infektion ein ziegelroter Belag bildet.

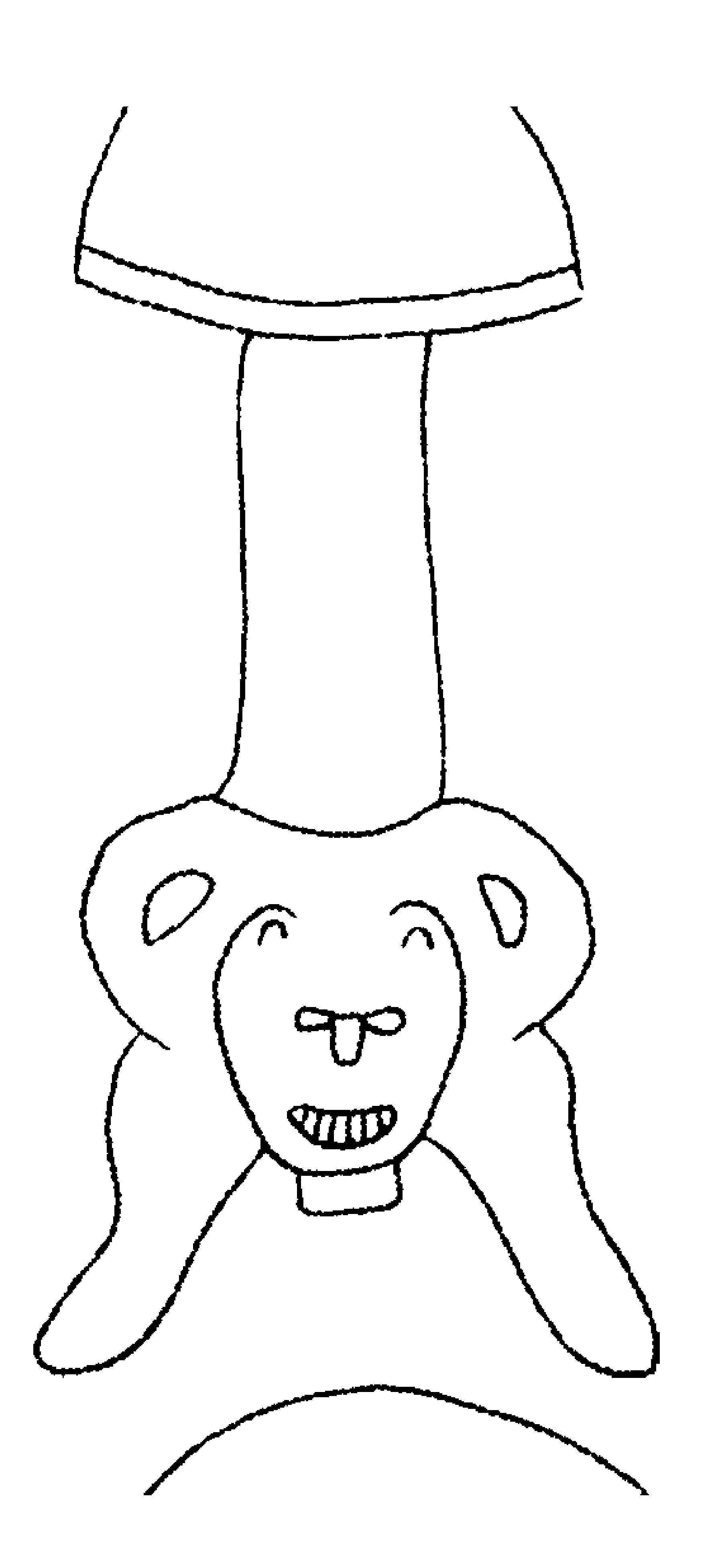
Für den Menschen sind aber nicht die Pilze selbst oder eines ihrer Stoffwechselprodukte gefährlich, sondern sogenannte Fototoxine, die von den Pflanzenknollen als Reaktion auf den Pilzbefall produziert werden. Kommt die menschliche Haut mit diesen Substanzen in Berührung, wird sie außerordentlich sensibel gegenüber der ultravioletten Strahlung der Sonne. Als Folge treten dadurch häufig Allergien oder starke Entzündungen der betroffenen Partien auf – Erkrankungen, die bei Landarbeitern, die häufig Mieten, also Gruben zur Lagerung von Feldfrüchten, ausräumen mussten, früher weit verbreitet war. Außerdem kann ein erhöhtes Hautkrebsrisiko nicht ausgeschlossen werden, da, wie seit Beginn der Diskussion um das Ozonloch über der Antarktis jeder weiß, mit einer verstärkten Absorption von UV-Strahlen auch eine Schädigung des Erbgutes einhergehen kann – oft mit fatalen gesundheitlichen Folgen.

Das Fleisch Gottes

Ende der sechziger Jahre geriet die Jugend der westlichen Welt bekanntlich in eine Art Aufbruchstimmung, die sich unter anderem darin äußerte, dass man bürgerliche Tabus ignorierte, sich von der Leistungs- und Wohlstandsgesellschaft abwandte, auf die Karriere pfiff, sich in wallende Gewänder kleidete, Blumen im Haar trug und im Namen der sogenannten Hippiebewegung eine friedvolle Gemeinschaft propagierte, in der Liebe, Musik, aber auch Rauschmittel einen zentralen Platz einnehmen sollten. Diese Entwicklung bekamen auch einige schottische Familien zu spüren, deren Sprösslinge sich plötzlich derart seltsam benahmen, dass die besorgten Eltern keinen anderen Ausweg mehr sahen, als die Jugendlichen in eine Klinik einzuliefern. Dort stellten die Ärzte sehr schnell fest, dass die Teenager unter Drogeneinfluss standen. Allerdings war nicht etwa Marihuana, Kokain oder ein anderes der bekannten Rauschgifte dafür verantwortlich, sondern als Verursacher der Symptome wurde vielmehr ein Pilz mit dem Namen Spitzkegeliger Kahlkopf (*Psilocybe semilanceata*) ausgemacht, von dem einige der Jugendlichen bis zu 100 Exemplare konsumiert hatten.

Natürlich wollten die besorgten Eltern, aber auch die Ärzte wissen, wie der „missratene“ Nachwuchs auf diese seltsame Idee gekommen war, und es dauerte nicht lange, bis man zur allgemeinen Verwunderung herausfand, dass die Teenager eigentlich nur eine uralte Kulthandlung wiederholt hatten, die Menschen schon vor Jahrtausenden – wenn auch auf einem ganz anderen Kontinent – regelmäßig durchgeführt hatten.





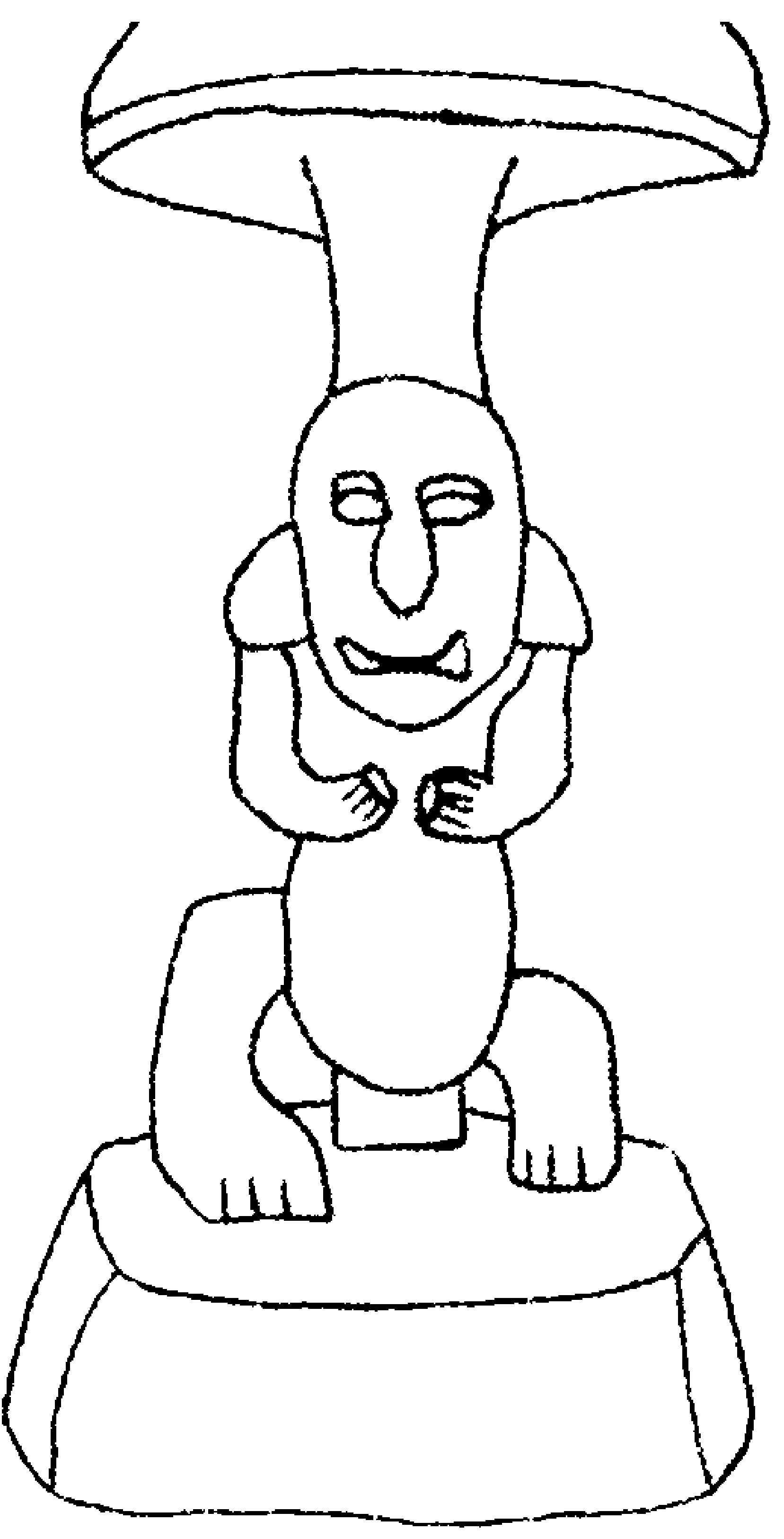


Abbildung 3: In Mittelamerika gefundene Steinskulpturen lassen die Vermutung zu, dass die indianische Urbevölkerung dieser Region vor über 2000 Jahren

heilige Pilze verehrte. Insgesamt wurden über 200 solcher „Pilzsteine“ gefunden, darunter auch die beiden hier skizzierten.

Dass die schottischen Jugendlichen von diesem ungewöhnlichen Brauch Kenntnis bekommen hatten, lag nicht zuletzt an einem begeisterten Amateurforscher namens Gordon Richard Wasson, einem pensionierten amerikanischen Bankier, der bei seinen Studien von seiner Ehefrau Valentina Pavlovna, einer Kinderärztin, unterstützt wurde. Fasziniert war das Ehepaar vor allen Dingen von sehr typisch geformten Steinfiguren, die man in größerer Zahl bei Ausgrabungen in Guatemala gefunden hatte, und bei denen es sich nach Ansicht der Archäologen um von den Maya gefertigte Phallussymbole handelte (Abbildung 3). Die Wassons vertraten allerdings eine andere Theorie: „Ich erinnere mich nicht, wer von uns, meine Frau oder ich, sich damals in den 40er Jahren zuerst getraute, die Vermutung in Worte zu fassen, dass unsere entfernten Vorfahren vor vielleicht 4000 Jahren einen göttlichen Pilz anbeteten“, sagte Gordon Wasson später auf einem Treffen der Mykologischen Gesellschaft von Amerika, aber auf jeden Fall hatte sich in den Köpfen des Amateurforscherehepaares die These festgesetzt, es habe in grauer Vorzeit in Mittelamerika eine Art Pilzkult gegeben.

Erste Hinweise für die Unterstützung ihrer These fanden die Wassons schon bald in Berichten aus der Zeit der spanischen Eroberungen auf dem neuen Kontinent. In den alten Schriften wurde nicht nur ein Pilz mit dem indianischen Namen *teonanacatl* erwähnt, was übersetzt soviel wie „Fleisch Gottes“ bedeutet, sondern es gab sogar Schilderungen über den Gebrauch dieses Pilzes. Eine dieser Darstellungen stammt aus der *Historia de los Indios de la Nueva España*, die der spanische Geistliche Toribio de Benaventes im Jahre 1569 verfasste:

> Als erstes aß man während des Festes kleine schwarze Pilze, Nanacatl genannt, die einen trunken

> machen, Visionen und selbst Wollust hervorrufen. Sie aßen sie, ehe der Tag anbrach … mit Honig, und sobald sie sich durch ihren Einfluss genug erhitzt fühlten, begannen sie zu tanzen. Andere sangen, wieder andere weinten, weil sie berauscht waren, anderen versagte die Stimme. Diese setzten sich in einen Raum, wo sie in sich wie versunken blieben. Die einen hatten das Gefühl, sie stürben, und weinten in ihren Halluzinationen, andere sahen sich von einem wilden Tier aufgefressen, wieder andere bildeten sich ein, sie nähmen einen Feind im Kampfgetümmel gefangen. Dieser glaubte, er sei reich, jener, er hätte eine große Anzahl von Sklaven. Es gab welche, die glaubten, man habe sie beim Ehebruch ertappt und werde ihnen nun den Kopf wegen dieser Missetat zerschmettern oder sie hätten sich irgendwelcher Diebstähle schuldig gemacht, wofür man sie jetzt töten werde … und noch tausend andere Visionen. Nachdem der Rausch vorbei war, unterhielten sie sich untereinander über ihre Halluzinationen. (Schmidbauer und von Scheidt 1988)

Auch bei den Feierlichkeiten anlässlich der Krönung Moctezuma II., der zur Zeit der spanischen Eroberungen über das mächtige Aztekenreich herrschte, spielten solche Pilze eine gewichtige Rolle. In einem Bericht des spanischen Dominikanermönches Diego Duran über diese Feierlichkeiten, bei dem man angeblich 30.000 Menschen opferte, wobei vielen das Herz bei lebendigem Leib aus der Brust gerissen worden sein soll, heißt es:

> Nachdem die Opferfeierlichkeiten beendet und die Stufen des Tempels und der Hof mit menschlichem Blut getränkt waren, begann die gesamte Gesellschaft, Pilze zu essen, wodurch die Menschen die Kontrolle über sich verloren und in einen schlimmeren Zustand versetzt wurden, als wenn sie zu viel Wein getrunken hätten.

> Einige gerieten in einen derart starken Rauschzustand, dass sie den Verstand verloren und Selbstmord begingen. Andere hatten während dieser Zeit Visionen, in denen sich ihnen die Zukunft offenbarte oder der Teufel zu ihnen sprach. (Findlay 1982)

Aus solchen Aufzeichnungen folgerten die Wassons, es müsse sich bei den erwähnten Pilzen um Arten mit halluzinogenen Inhaltsstoffen gehandelt haben. Und konnte es dann nicht sein, dass man diese Drogenpilze vor Jahrtausenden in Stein gemeißelt und verehrt hatte? Wasson und seine Frau beschlossen, nach handfesten Beweisen für ihre Theorie zu suchen.

Da den beiden immer wieder Gerüchte zu Ohren gekommen waren, solche Pilzrituale hätten sich in Mittelamerika bis heute erhalten, reisten Valentina Pavlovna und Gordon Wasson in das abgelegene südmexikanische Hochland, in dem es noch sehr ursprünglich lebende Ureinwohner gab, um dort nach einem Stamm zu suchen, bei dem ein solcher Brauch möglicherweise bis heute gepflegt wurde. Nach jahrelangen vergeblichen Nachforschungen wurden sie dann tatsächlich fündig, wenn es ihnen auch zunächst nicht gelang, viele Einzelheiten über diese Bräuche zu erfahren. Wie Gordon Wasson erklärte, bedurfte es einer gehörigen Portion Geduld, bis man sich das Vertrauen eines weisen alten Mannes oder einer Frau erwarb, um dann vielleicht bei Kerzenschein eine geflüsterte Information über die „göttlichen Pilze“ zu bekommen.

Mit der nötigen Ausdauer gelang es Wasson aber schließlich doch, in einem kleinen Dorf namens Huautla de Jimenez Näheres über die Drogenpilze in Erfahrung zu bringen, und er durfte sie zu seiner Freude mit Erlaubnis der Schamanin Maria Sabina sogar probieren. Was danach geschah, schilderte er wie folgt:

„Die heiligen Pilze Mexikos ergreifen den Esser mit unwiderstehlicher Gewalt. … Ich selbst hatte Halluzinationen. Was ich sah, sah ich klarer als alles, was ich je zuvor gesehen hatte. Zuletzt schaute ich mit dem Auge der Seele, nicht mehr durch die groben Linsen meiner natürlichen Augen. … Alle meine Visionen besaßen eine Qualität der Ursprünglichkeit: Sah ich das Chorgestühl einer … Kathedrale, so war es nicht schwarz von Alter und Weihrauch, sondern so frisch, als wäre es gerade eben geschnitzt aus der Hand des Meisters gekommen. Die Paläste, Gärten, Meeresküsten und Berge, die ich sah, trugen jenen Ausdruck der Neuheit, der frischen Schönheit, der uns alle gelegentlich wie ein Blitz überfällt. … Es ist ein seltsames Gefühl: Mit der Geschwindigkeit des Gedankens wird man an jeden Ort versetzt, an den man sich wünscht, und man ist dort, ein vom Körper gelöstes Auge, frei im Raum, sehend, ohne gesehen zu werden, unsichtbar, körperlos.“ (Schmidbauer und von Scheidt 1988)

Anders als noch einige Jahrhunderte zuvor wurden die Drogenpilze von den Stammesangehörigen inzwischen allerdings nicht mehr bei Festlichkeiten verwendet, sondern sie stellten vielmehr ein unverzichtbares Handwerkszeug vieler Medizinfrauen und -männer dar, die versuchten, mit diesem Hilfsmittel Kontakt zu den Göttern aufzunehmen. Diese bat man dann um Unterstützung bei der Behandlung von Krankheiten oder fragte sie nach dem Verbleib von Dorfbewohnern, die plötzlich und ohne eine Nachricht verschwunden waren.

Roger Heim, lange Jahre Direktor des Museums National d'Historie Naturelle in Paris, und zusammen mit den Wassons einer der aktivsten Forscher auf dem Gebiet halluzinogener Pilze, verdanken wir die Schilderung einer

solchen Schamanenzeremonie, wie sie noch vor etwas mehr als einem halben Jahrhundert in Mexiko stattgefunden hat:

> Die Pilze werden früh am Morgen gesammelt, wenn die Luft noch rein ist, bevorzugt zur Zeit des Neumondes, aber die eigentliche Zeremonie findet abends hinter verschlossenen Türen statt und dauert die ganze Nacht an. Auf einem Tuch in der Nähe eines sehr einfachen Altars sind verschiedene Gegenstände aufgebaut, unter anderem Stücke des Harzes von Kopalbäumen (*Copaifera*), die wie Weihrauch verwendet werden, Kakaosamen, Maiskörner, pulverisierter grüner Tabak, Hühnereier und die gepunkteten Eier des mexikanischen Truthahns, Borke eines Baumes mit dem Namen „Amate“ und vierzehn Paare von *Psilocybe mexicana*, zusammen mit drei oder vier Pilzen einer *Stropharia*-Art, die der „Heilige Pilz des Kuhdungs“ genannt wird …
>
> Der curandero… nimmt zwei Pilze und hält sie über das glühende Kopalharz, wenn dieses einen beißenden, bitteren Geruch abgibt. Anschließend beginnt er, sie zu kauen und verzehrt nach und nach alle, immer zwei gleichzeitig. Dann nimmt er die Borke, einige der Federn und legt sie zusammen mit dreizehn Kakaosamen auf ein Stück Papier. Er wickelt alles ein und deponiert das Päckchen neben den Truthahneiern. Danach reibt er sich seine Unterarme und den Nacken mit dem Pulver des grünen Tabaks ein und löscht mit einer Blüte das restliche Licht, sodass es vollkommen dunkel ist. Nun steht der Schamane auf, wickelt sich in die Decke und stellt denjenigen, die gekommen sind, um ihn zu konsultieren, Fragen, wobei er, augenscheinlich in Gedanken versunken, die Maiskörner in die Luft wirft und mit beiden Händen auffängt. Dieser Handlungsablauf wird dann in genau der gleichen Reihenfolge wiederholt, und während der Zeremonie,

> die bis zum Morgen andauert, darf niemand fortgehen. Einige der Anwesenden essen ebenfalls von den Pilzen, und nach etwa einer Stunde setzen bei ihnen die fantastischen Halluzinationen ein. (Findlay 1982)

Die aufsehenerregenden Berichte über die neu entdeckten, aber wohl schon uralten Kulthandlungen, in denen halluzinogene Pilze im Mittelpunkt standen, hatten allerdings bald unerwartete und unerwünschte Nebeneffekte, denn es dauerte nicht lange, bis die experimentierfreudige Jugend der „wilden sechziger Jahre“ auf diese bisher unbekannte Quelle zur Bewusstseinserweiterung aufmerksam wurde und auf der Suche nach den heiligen Pilzen die einsame Bergwelt Mexikos überschwemmte.

Die Männer der ersten Stunde zeigten sich von dieser Entwicklung völlig überrascht. So beklagte sich etwa Roger Heim, das Dort Huautla de Jimenez sei schon bald, nachdem sie ihre Entdeckung bekannt gemacht hätten, von sensationslüsternen Journalisten, Psychopathen, Abenteurern, Ausbeutern, Gammlern und sogar Geheimdienstlern in ein modernes Mekka verwandelt worden – mit dem Ergebnis, dass die alten Riten schnell zu demütigenden, nächtlichen Happenings verkommen seien, zu denen sich die Ausgeflippten drängen. Allerdings hatten gerade Wasson und Heim mit ihren sensationell anmutenden Berichten, die man nur zum Teil mit der notwendigen Chronistenpflicht rechtfertigen kann, selbst einen gehörigen Teil zu dieser Entwicklung beigetragen. So fertigte Wasson beispielsweise einen Mitschnitt von einer Pilzkultzeremonie der Schamanin Maria Sabina an und veröffentlichte ihn anschließend auf vier Langspielplatten – inzwischen übrigens begehrte Sammlerstücke.

Später ließ sich der einmal eingeschlagene Weg dann nicht mehr korrigieren. Überall auf der Erde machten sich junge Leute auf die Suche nach den neuartigen, kostenlosen

Rauschmitteln. Allerdings zeigte sich sehr schnell, dass von den weltweit insgesamt etwa 70 halluzinogenen Pilzarten nur wenige, hauptsächlich in Mittelamerika vorkommende Vertreter, nennenswerte Mengen Drogen enthalten. Bei den übrigen Arten ist der Anteil des Giftes zumeist gering und außerdem starken Schwankungen unterworfen, sodass die Jagd auf halluzinogene Pilze in anderen Teilen der Erde, beispielsweise in Mitteleuropa, nicht von Erfolg gekrönt war. Ganz abgesehen davon, waren die zumeist kleinen und unscheinbaren Arten nicht leicht zu finden und noch schwerer zu bestimmen sind, sodass die einseitig ausgerichteten Hobbymykologen immer Gefahr liefen, versehentlich einmal an einen gefährlicheren Giftpilz zu geraten, um ihren Leichtsinn dann möglicherweise mit dem Leben zu bezahlen.

Etwas anderes verhält es sich in Großbritannien, wo es in bestimmten Gegenden größere Vorkommen des bereits erwähnten Spitzkegeligen Kahlkopfes gibt, sodass die Behörden in den 70er Jahren, nachdem die geschilderten Vorfälle mit den schottischen Teenagern bekannt wurden, sogar einmal erwogen, Grasflächen, auf denen diese Art im Herbst häufig wächst, mit Fungiziden zu behandeln, um die Pilze mit Stumpf und Stiel auszurotten.

Viele der Jugendlichen versuchten seinerzeit auch, halluzinogene Pilze unter künstlichen Bedingungen wachsen zu lassen, besonders nachdem eine Anleitung zur Kultur und Aufzucht von Drogenpilzen erschienen war, die in den USA eine beachtliche Auflage erreichte. Allerdings waren diese Zuchtversuche fast nie von Erfolg gekrönt. Erst dem „Profi“ Roger Heim gelang es, eine Reihe der göttlichen Pilze – die hauptsächlich zu den Kahlköpfen (*Psilocybe*) und Träuschlingen (*Stropharia*) gehören – in größeren Mengen in seinem Labor zu züchten. Dadurch besaß man nun genug Untersuchungsmaterial, um die Isolierung der halluzinogenen Stoffe in Angriff zu nehmen und ihre Struktur aufzuklären. Mit diesem Anliegen wandte man sich an Albert

Hofmann (1906–2008), einen Chemiker vom schweizerischen Chemie- und Pharmaunternehmen Sandoz in Basel.

Allerdings verliefen diese Untersuchungen zunächst ergebnislos, denn keiner der hergestellten Extrakte zeigte auch nur die geringsten Effekte, wenn er Versuchstieren wie Mäusen und Hunden verabreicht wurde. Dazu Hofmann: „Es kamen daher Zweifel auf, ob die in Paris gezüchteten und getrockneten Pilze überhaupt noch wirksam seien. Das konnte nur durch einen Versuch am Menschen mit diesem Pilzmaterial entschieden werden". Dieses Experiment machte der Wissenschaftler selbst, da, wie er schreibt „es nicht angeht, dass ein Forscher einen Selbstversuch, den er für seine eigenen Untersuchungen benötigt und der zudem ein gewisses Risiko in sich schließt, jemand anderem überträgt." (Hofmann 1993)

Unter ärztlicher Aufsicht aß der Schweizer Wissenschaftler 32 Exemplare von *Psilocybe mexicana*, eine Menge, die nach Angaben von Wasson etwa der Dosis entsprach, die auch von den indianischen Medizinmännern benutzt wurde. Das Versuchsprotokoll schildert, was dann geschah:

> Nach einer halben Stunde begann sich die Außenwelt fremdartig zu verwandeln. Alles nahm einen mexikanischen Charakter an. Weil ich mir dessen völlig bewusst war, dass ich aus meinem Wissen um die mexikanische Herkunft dieser Pilze mir nun mexikanische Szenerien einbilden könnte, versuchte ich gezielt, meine Umwelt so zu sehen, wie ich sie normalerweise kannte. Alle Anstrengungen des Willens, die Dinge in ihren altvertrauten Formen und Farben zu sehen, blieben jedoch erfolglos. Mit offenen oder bei geschlossenen Augen sah ich nur indianische Motive und Farben. Als der den Versuch überwachende Arzt sich über mich beugte, um den Blutdruck zu kontrollieren, verwandelte er sich in einen aztekischen

> Opferpriester, und ich wäre nicht erstaunt gewesen, wenn er ein Messer aus Obsidian gezückt hätte. Trotz des Ernstes der Lage erheiterte es mich, wie das alemannische Gesicht meines Kollegen einen rein indianischen Ausdruck angenommen hatte. Am Höhepunkt des Rausches, etwa eineinhalb Stunden nach Einnahme der Pilze, nahm der Ansturm der inneren Bilder – es waren meist abstrakte, in Form und Farbe rasch wechselnde Motive – ein derart beängstigendes Ausmaß an, dass ich fürchtete, in diesen Wirbel von Formen und Farben hineingerissen zu werden und mich darin aufzulösen. Nach etwa sechs Stunden ging der Traum zu Ende. Subjektiv hätte ich nicht angeben können, wie lange dieser ganz zeitlos erlebte Zustand gedauert hatte. Das Wiedereintreten in die gewohnte Wirklichkeit wurde wie eine beglückende Rückkehr aus einer fremden, als ganz real erlebten Welt in die altvertraute Heimat empfunden. (Hofmann 1993)

Damit war klar, dass Tiere nicht in der erwarteten Art und Weise auf halluzinogene Substanzen reagierten, also für die Identifizierung der Wirkstoffe auch nicht eingesetzt werden konnten. Alle weiteren Tests mussten also an Menschen durchgeführt werden. Neben Hofmann und seinen Mitarbeitern stellten sich bereitwillig weitere Kollegen zur Verfügung, sodass es schließlich gelang, die beiden, für die halluzinogene Wirkung verantwortlichen Substanzen zu isolieren. Dabei handelt es sich um zwei Tryptaminderivate, denen man die Namen Psilocybin und Psilocin gab und deren Struktur und Wirkung sich etwa mit der von Lysergsäurediäthylamid vergleichen lässt, einer Droge, die besser unter ihrer Abkürzung LSD bekannt ist, und von der in Kapitel 7 noch ausführlich die Rede sein wird.

Zuvor wollen wir uns aber noch mit einem anderen Pilz beschäftigen, der auch bei uns heimisch ist und dessen

Genuss ebenfalls psychische Veränderungen hervorrufen soll – mit dem Fliegenpilz.

Der Narrenschwamm

Der geheimnisumwitterte Fliegenpilz – wegen seiner angeblich bewusstseinsverändernden Eigenschaften in manchen Gegenden auch Glückspilz genannt – hat nicht nur Eingang in Kinderlieder und Märchenbücher gefunden, sondern gehört in der Vorstellung der meisten Menschen außerdem zum unverzichtbaren Handwerkszeug von Hexen und Zauberern. Daher kann es kaum verwundern, dass sich unzählige Legenden um ihn gebildet haben, was schon bei der Deutung des ungewöhnlichen Namens beginnt. So wurde lange angenommen, dieser leite sich von der Tatsache ab, dass früher in Milch eingelegte Pilzstückchen dazu benutzt wurden, lästige Fliegen zu vergiften, was allerdings unwahrscheinlich ist, da Versuche gezeigt haben, dass dies nicht funktioniert. Vielmehr werden die kleinen Plagegeister höchstens betäubt und fliegen dann nach einiger Zeit munter davon. Heute vermutet man daher, die Namensgebung habe entweder damit zu tun, dass Fliegen im Mittelalter als Symbol des Wahnsinns galten (eine andere Bezeichnung für den Fliegenpilz ist Narrenschwamm) oder weil dem mystischen Pilz die Kraft nachgesagt wurde, Menschen das Fliegen zu ermöglichen, etwa „Hexen“ auf ihren Besen.

Der Fliegenpilz in verschiedenen Kulturkreisen

Die Germanen glaubten, Fliegenpilze würden überall dort wachsen, wo Schaum aus dem Maul von Odins Pferd auf die Erde getropft sei. Das ist insofern interessant, als Odin (altnordisch: Wotan oder Wuotan) nicht nur der Toten- und Kriegsgott der Germanen war, sondern auch der Gott der Ekstase. (Von seinem Namen leitet sich der Begriff Wut ab.) Und so soll der Fliegenpilz auch für die sprichwörtliche

Raserei der Berserker verantwortlich gewesen sein, also für die in Bärenfelle gehüllten nordischen Sagengestalten, die im Kampf als unverletzlich galten. Aber auch die Wikinger kannten die Wirkung dieses Pilzes angeblich sehr genau, denn es heißt, sie hätten ihn als Stimulans während der Scharmützel eingesetzt, in die sie auf ihren Beutezügen zwangsläufig immer wieder verwickelt wurden.

Reisende, die im 18. und 19. Jahrhundert nach Sibirien kamen, erwähnten dagegen eine völlig andere Benutzung des Fliegenpilzes durch die dort lebenden Tschuktschen, Kamtschadalen, Korjaken, Jukagiren, Chanten (Ostjaken), Samojeden, Mari (Tscheremissen) und Mordwinen. So berichtet der irische Arzt und Schriftsteller Oliver Goldsmith von einer Sitte wohlhabender Korjaken, Feste zu veranstalten, in denen ein Sud aus Fliegenpilzen gereicht wurde, die man bei den Russen eingetauscht hatte. Angeblich waren die Pilze so begehrt, dass für ein einzelnes Exemplar manchmal ein ausgewachsenes Rentier „gezahlt" wurde. *„„Wenn die hohen Herren und ihre Damen versammelt sind …", schrieb Goldsmith, „… macht der Pilzsud seine Runde. Sie beginnen zu lachen, erzählen Unsinn, werden zunehmend beschwipst und somit zu ausgezeichneten Gesellschaftern.""* (Findlay 1982)

Natürlich waren aber auch die ärmeren Leute an dem berauschenden Sud interessiert. Weil sie sich die begehrten Pilze jedoch nicht leisten konnten, legten sie sich in der Nähe des Hauses, in dem ein solches Fest stattfand, auf die Lauer und warten, bis die Damen und Herren der Gesellschaft herauskamen, um Wasser zu lassen. Dann fingen sie den Urin mit einem hölzernen Gefäß auf und tranken ihn, denn angeblich verliert die Droge auch bei der „Filtration" im menschlichen Körper nichts von ihrer berauschenden Wirkung.

Dieses ungewöhnliche Gebaren zum Anlass nehmend malt sich Goldsmith anschließend in süffisanter Weise die Auswirkungen für den Fall aus, dass dieser Brauch auch bei

den englischen Adligen in Mode käme, deren wahre Qualitäten, wie er meint, sowieso erst sichtbar würden, wenn sie einen anständigen Rausch hätten. Dabei stellt er sich die Mitglieder der High Society vor, wie sie bei einem festlichen Anlass aus einem *„„hölzernen Gefäß tranken, um anschließend den Wohlgeschmack seiner Lordschaft Flüssigkeit zu preisen … Ein Lord wird das Gefäß für einen Minister halten, ein Ritter für seine Lordschaft und ein einfacher Knappe wird es zweifach destilliert trinken ….""* (Findlay 1982)

Eine vergleichbare Darstellung findet sich auch in dem im Jahre 1845 erschienenen Giftpflanzenbuch der deutschen Toxikologen Berge und Riecke:

> Merkwürdig ist es, dass verschiedene Völkerschaften des nördlichen Asiens sich des Fliegenschwamms als eines berauschenden Mittels bedienen, so die Samojeden, Ostjaken, Tungusen, Jakuten usw., besonders aber die Kamtschadalen. Der Fliegenschwamm wird von denselben, auf verschiedene Weise zubereitet, genossen. Nach einer halben, zuweilen auch erst nach einer bis zwei Stunden, beginnt die Wirkung, zuweilen mit Ziehen und Zucken in den Muskeln oder mit Sehnenhüpfen. Die Menschen werden lustig, später ausgelassen lustig, zeigen auch, indem sie zum Theil schwindeln und taumeln, doch ungewöhnliche körperliche und geistige Kräfte. Nur ausnahmsweise tritt eine traurige Gemütsstimmung ein sowie auch andere Symptome, welche auf den Genuss geistiger Getränke zu folgen pflegen, in einzelnen Fällen nicht ausbleiben … Aus dem Schlaf, in den die Berauschten fallen, erwachen sie mit großer Mattigkeit, eingenommenem Kopf, aufgedunsenen Gesicht usw. Der häufige Gebrauch des Fliegenschwamms macht die Leute, wenigstens im Alter, stumpfsinnig und dumm. Bei heftigen Berauschungen erfolgt zuweilen der Tod unter

> Zuckungen. Das berauschende Prinzip des Fliegenschwammes geht in den Ham über, und so unwahrscheinlich es auch klingt, so bezeugen doch verschiedene Reisende, dass bei den genannten Völkerschaften nicht alleine der Schwamm, sondern auch der Urin der dadurch Berauschten als Berauschungsmittel benutzt und auf diese Weise die Berauschung selbst auf die vierte und fünfte Person übertragen werde. Zu bemerken ist übrigens noch, dass auch der Fliegenschwamm in Beziehung auf Unbeständigkeit seiner Wirksamkeit durchaus keine Ausnahme macht vom Verhalten der Pilze überhaupt. Es fehlt auch bezüglich seiner nicht an Beobachtungen, wo sein Genuss keine nachhaltigen Wirkungen hervorbrachte. Langsdorf gibt an, derselbe Mensch werde oft von einem Pilz sehr stark, andere Male von zwölf bis zwanzig Stück gar nicht angegriffen, und Bulliard aß zwei Unzen des Pilzes ganz ohne Nachtheil. (Rätsch 1991)

Der deutsche Völkerkundler Enderli, der Ende des 19. Jahrhunderts zwei Jahre unter Tschuktschen und Korjaken verbrachte, wurde sogar Augenzeuge eines solchen Fliegenpilzgelages:

> Schon nach dem vierten Pilze fangen die Wirkungen des Giftes sich zu äußern an. Die Augen nehmen einen wilden (nicht etwa den glasigen, wie bei Betrunkenen) Ausdruck an, ihr Glanz wurde geradezu blendend und die Hände kamen in nervöses Zittern. Die Bewegungen wurden eckig und schroff, gleich als ob die Vergifteten die Herrschaft über ihre Glieder verloren hatten. Dabei befanden sie sich bei vollem Bewusstsein. Nach einigen Minuten ergriff die zwei Männer eine schwere Betäubung, sie fingen leise an, eintönige, improvisierte Lieder zu singen, deren Inhalt ungefähr lautete: „Ich

heiße Kuwar und bin betrunken, mir ist lustig, ich werde immer Pilze essen usw.“ Dann wurde der Gesang immer lebhafter und lauter, zeitweise durch rasend schnell ausgerufene Worte unterbrochen, und der tierisch wilde Ausdruck der Augen nahm zu, das Zittern der Extremitäten wurde stärker und der Oberkörper geriet in immer heftigere Bewegungen. Dieser Zustand dauerte gegen zehn Minuten. Plötzlich überfiel den Rentierkorjaken und kurz darauf den anderen ein Tobsuchtsanfall. Sie stürzten gleich Rasenden von ihren Plätzen, auf denen sie bisher gesessen hatten, laut und verwirrt Trommeln verlangend. (Scheibenförmige Trommeln aus Rentierleder, die für religiöse Zwecke benutzt werden, besitzt jede Familie.) Die Frauen brachten sofort zwei Trommeln herbei, die sie den Betrunkenen überreichten. Und nun ging ein unbeschreiblicher Tanz mit Gesang los, ein ohrenbetäubendes Trommeln und rasendes Umherrennen in der Jurte, bei dem alles rücksichtslos herumgeworfen wurde, bis zur völligen Ermattung. Wie tot stürzten sie plötzlich zusammen und verfielen darauf sofort in einen tiefen Schlaf, währenddessen den Schlafenden Speichel aus dem Munde floss und der Puls auffallend langsamer wurde.

Eben dieser Schlaf bietet den größten Reiz, der Betrunkene hat dabei die schönsten phantastischen Träume. Diese Träume sind sehr sinnlich und der Schlafende schaut darin alles, was er wünscht.

Nach einer halben Stunde erwachten die beiden ziemlich gleichzeitig aus dem Schlafe, die Wirkung des Giftes hatte nachgelassen, beide waren bei Sinnen, ihr Gang aber war unsicher und von Zuckungen begleitet. Aber bald zeigte sich das Gift von neuem in seinen Wirkungen: der Betrunkenen bemächtigte sich wieder ein Tobsuchtsanfall, nur in schwächerer Form. Dann fielen sie wieder in Schlaf, aus dem sie für eine kurze

Zeit zu völliger Klarheit erwachten, die wieder von neuem von einem Anfall abgelöst wurde. So wiederholten sich die Anfälle einige Male, aber immer an Heftigkeit abnehmend. Sie hätten wahrscheinlich nach einigen Stunden gänzlich aufgehört, wenn diese Vergifteten nicht ein weiteres Mittel in Anwendung gebracht hätten, das die Vergiftung wiederum verstärkte.

Wie es scheint, wird das Gift des Fliegenpilzes im Ham ausgeschieden, wodurch derselbe, wenn getrunken, dieselben Wirkungen ausübt, wie der Fliegenpilz. Da nun in jenen Gegenden der Fliegenpilz verhältnismäßig selten ist, wird er von den Korjaken sehr geschätzt und sie finden es daher zu kostspielig, den Urin, der in seiner Wirkung den Pilz völlig ersetzt, wegzuschütten.

Ich bemerkte nun, dass eine Frau dem Erwachten ein kleines Blechgefäß herbeibrachte, in welches sich der Mann seines Urins in Gegenwart aller entledigte. Dieses Gefäß wird ausschließlich für diesen bestimmten Zweck verwendet und der Korjake nimmt es auch auf Reisen mit sich. Der Betrunkene (eigentlich der Vergiftete) stellte das Gefäß neben sich; der Urin war noch warm und der Dampf stieg in der kalten Jurte dicht aufwärts, als der zweite Pilzesser, der eben aus dem Schlafe erwachte, das Uringefäß neben sich erblickte, es ohne weiteres ergriff und einige volle Züge daraus trank. Bald darauf folgte der erste, der eigentliche ‚Herr des Urins', dem Beispiel des anderen. Nach wenigen Augenblicken übte der getrunkene Urin seine Wirkung aus, die Vergiftungssymptome nahmen in der beschriebenen Weise an Heftigkeit zu. Schlaf mit Tobsuchtsanfällen und Momenten völliger Ruhe wechselten ab. Die Vergiftung wurde immer wieder durch Urintrinken verstärkt. So dauerten die rasenden Tänze und Trinkgelage die ganze Nacht hindurch und erst gegen den folgenden Abend hatten sich beide Korjaken von der Betäubung erholt.

> Der übrigbleibende Urin wird sorgfältig auf kurze Zeit aufgehoben, um bei nächster Gelegenheit wiederum benutzt zu werden. Selbst während der Fahrt, wenn der Korjake noch in halb trunkenem Zustand die Ansiedlung verlässt, wird er den Harn nicht vergeuden; er sammelt ihn dann auch in dem dazu bestimmten Gefäß, das er mit sich führt. (Rätsch 1991)

Aber nicht nur in Sibirien, sondern auch in Europa sollen einst regelmäßig Fliegenpilze konsumiert worden sein, beispielsweise in Schottland, wo man sie angeblich in Whisky aufgelöst trank. Genannt wurde ein solches Gemisch übrigens „Cathie“, möglicherweise in Anlehnung an Katharina die Große von Russland, die, will man der Überlieferung glauben, diesem Getränk ebenfalls nicht abgeneigt war. Anschließend wurde der Urin der Konsumenten durch Schafwolle gefiltert, mit Milch oder Quark vermischt, um dann erneut verwendet zu werden. Und auch Lappen und Finnen sollen Mixturen dieser Art benutzt haben. Bei dem von ihnen geschätzten Getränk handelte es sich allerdings um den gefilterten Urin von Rentieren, denen man Fliegenpilze zu fressen gegeben hatte.

Dass aber, wie der britische Archäologe Burl behauptet, die zahlreichen Keramikbecher, die man in vielen Gräbern aus der Zeit der Glockenbecherkultur (Ende des 3. Jahrtausends bis zum frühen 2. Jahrtausend vor Christus) gefunden hat, als Auffanggefäße für „Fliegenpilzurin“ gedient haben sollen, gehört wohl doch eher ins Reich der Fantasie.

Ähnlich schwer wird vermutlich auch eine Theorie zu beweisen sein, die der bereits mehrfach erwähnten Gordon Wasson vertritt. Als er sich mit heiligen, altindischen Schriften beschäftigte, stieß er auf eine Textstelle im Rigveda, in der es heißt:

Der Trank hat mich fortgerissen wie ein stürmischer Wind …
Die eine Hälfte meines Ichs lässt die beiden Welten hinter sich …
Ich habe an Größe diesen Himmel und diese Erde übertroffen …
Ich merke, dass ich Soma getrunken habe.
(Hymne X, 119)

Das hier erwähnte Soma, angeblich mit Einwanderern im 12. Jahrhundert vor Christus nach Indien gelangt, gehört seit Jahrhunderten zu den größten Rätseln der Mythologie. Wie man in alten Texten nachlesen kann, sollen die Götter einst ihren Mitgott Soma erschlagen haben, um den Menschen zu zeigen, was ein Opfer ist, und danach galt das Auspressen der heiligen Somapflanze als kultische Wiederholung dieser Tat. Dem Trank, der beim Auspressen entstand, wurden übernatürliche Kräfte, paradiesische Wonnen, Visionen von der himmlischen Welt, Unsterblichkeit und ewige Jugend nachgesagt; außerdem sollte er dem Konsumenten zu einem intensiveren Liebesleben verhelfen.

Leider ist im Laufe der Jahrhunderte das Wissen verloren gegangen, aus welcher Pflanze der heilige Trank zubereitet wird. Es gibt allerdings zahlreiche „Verdächtige“, etwa die Echte Alraunwurzel (*Mandragora officinarum*), deren Alkaloide Wahnvorstellungen hervorrufen oder den Hanf (*Cannabis*), aus dem sich Marihuana und Haschisch herstellen lassen.

Diese Spekulationen bereicherte Wasson um eine weitere Nuance, indem er behauptete, bei der geheimnisvollen Somapflanze handle es sich tatsächlich um den Fliegenpilz. Neben einigen linguistischen und geobotanischen Spitzfindigkeiten führt er dazu folgendes Argument an: Nach der Überlieferung verlangt die Zubereitung des Somatranks, dass die ausgepresste Flüssigkeit noch am Tag der Herstellung getrunken wird. Damit scheiden nicht nur

Marihuana (die getrockneten Blüten und Blätter der Hanfpflanze) und Haschisch (ein von winzigen Drüsen der Hanfpflanze abgesondertes Harz) aus, sondern auch durch alkoholische Gärung hergestellte Getränke oder die Opiumalkaloide des Schlafmohns (*Papaver somniferum*), etwa Morphin. Dagegen ließen sich Pilze mit halluzinogenen Inhaltsstoffen genau wie verlangt zubereiten.

Außerdem wird in einigen der überlieferten Textstellen davon gesprochen, dass Priester, die den Saft der Somapflanze konsumiert hatten, den göttlichen Trank mit dem Urin wieder ausscheiden würden – eine Parallele zu den Berichten aus Sibirien, wohin sich der Brauch ausgebreitet und dann aufgrund der abgelegenen und unzugänglichen Lage bis in die nahe Vergangenheit erhalten haben könnte, während das verschwommene Wissen von der göttlichen Somapflanze in Indien nur noch durch die Mythologie erhalten wurde.

Medizinische Verwendung und Wirkung

Die sibirischen Ureinwohner benutzten Fliegenpilze in der Vergangenheit aber ganz augenscheinlich nicht nur als Rauschmittel, sondern auch für medizinische Zwecke. So berichtet ein polnischer Offizier namens Kopec, der sich 1797 auf einer Reise nach Kamtschatka befand, er sei plötzlich so krank geworden, dass er seine Expedition nicht fortsetzen konnte. Glücklicherweise nahm ihn aber einer der Einheimischen in seine stickige und nach Tran stinkende Hütte auf, wo Kopec sich anfangs fühlte, als müsse er sterben. Doch dann gab ihm sein Gastgeber, bei dem es sich vermutlich um einen Priester oder Medizinmann handelte, einen speziellen Pilz zu essen, der den Offizier wieder auf die Beine brachte.

> „Bevor ich dir diese Arznei verabreiche“, hatte der Mann gesagt, „muss ich dir noch etwas wichtiges

> mitteilen. Dieser Pilz ist, wie ich wohl mit Recht behaupten kann, eine wunderbare Medizin. Man könnte sie als wertvollste Schöpfung der Natur bezeichnen, … denn sie macht denjenigen, der sie einnimmt, nicht nur gesund, sondern lässt ihn auch in die Zukunft blicken. Da du sehr schwach bist, gebe ich dir nur einen Pilz zu essen, der aber ausreicht, um dich in einen erholsamen Schlaf fallen zu lassen.“ (Findlay 1982)

Alles geschah so, wie der Mann es vorhergesagt hatte. Kopec fiel in einen tiefen Schlaf und träumte von einem fantastischen Garten, in dem ihm wunderschöne, weiß gekleidete Frauen Früchte und Beeren zu essen gaben. Am nächsten Tag verabreichte ihm der Mann eine stärkere Dosis und erneut war der polnische Offizier bereits einige Minuten später eingeschlafen. Erst nach vierundzwanzig Stunden wachte er wieder auf. „Es ist schwer, wenn nicht sogar unmöglich, die Visionen, die ich während dieses langen Schlafes hatte, zu beschreiben“, heißt es in seinen Aufzeichnungen. Alle Menschen, die er kannte, erschienen einer nach dem anderen vor seinem geistigen Auge, und alles, was er seit seinem fünften oder sechsten Lebensjahr erlebt hatte, machte er noch einmal durch. Einige Tage später fühlte er sich dann soweit wiederhergestellt, dass er seine Reise fortsetzen konnte.

Nun könnte man meinen, der Fliegenpilz sei nur ein weiterer Pilz mit halluzinogenen Inhaltsstoffen, aber so einfach scheint die ganze Sache nicht zu sein. Zwar lassen sich eine Reihe ungewöhnlicher Stoffe aus Fliegenpilzen isolieren, etwa die Gifte Bufotenin, Muscarin oder Muscimol, aber von denen kann keiner die mehrfach unabhängig voneinander geschilderte Wirkung zufriedenstellend erklären. Bufotenin ist zwar ein Halluzinogen, war aber in allen untersuchten Pilzen in viel zu geringen Mengen vorhanden, als dass es irgendeinen Effekt haben könnte. Muscarin bewirkt dagegen unter bestimmten Umständen

Veränderungen im vegetativen Nervensystem und kann sogar zu Tobsucht führen, ist aber im Fliegenpilz ebenfalls nur in geringer Konzentration enthalten und wird außerdem kaum über die menschliche Darmwand aufgenommen.

Etwas anders verhält es sich mit dem Gift Muscimol. Der Schweizer Wissenschaftler P. G. Waser hat diese Substanz in mehreren Selbstversuchen getestet und dabei festgestellt, dass fünf Milligramm ausschließlich schläfrig machten, zehn Milligramm zu einer leicht gehobenen Stimmung führten, die geistige Leistungsfähigkeit erhöhten und die Farben- und Geschmacksempfindungen veränderten, während 15 Milligramm eine ausgesprochene Intoxikation hervorriefen, verbunden mit Gleichgewichtsstörungen, unartikuliertem Sprechen, Krämpfen einiger Muskelgruppen und Echobildern von Szenen, die bereits einige Minuten zurücklagen.

Auch Gordon Wasson hat es sich nicht nehmen lassen, an einem solchen Test teilzunehmen. Allerdings probierte nicht eine der isolierten Substanzen, sondern aß vollständige Pilze. Bei diesem Versuch, den er zusammen mit zwei weiteren Probanden durchführte, fühlte er zunächst eine etwas gehobene Stimmung, bevor er in einen zweistündigen Schlaf fiel. Eine völlig unterschiedliche Wirkung übten die Pilze dagegen auf einen der beiden anderen Teilnehmer aus, einen japanischen Mykologen. Dieser geriet in Verzückung, begann ungefähr drei Stunden lang hymnisch zu sprechen und schrie seine Kollegen, die nur einige Schritte von ihm entfernt standen, dabei mit voller Kraft an.

Andere Versuche mit Fliegenpilzen und freiwilligen Testpersonen haben gezeigt, dass sich bei einigen der Probanden die Raumvorstellungen veränderten. So hielten sie eine Pfütze plötzlich für einen See oder versuchten mit großen Sprüngen über winzige Hindernisse zu setzen.

Da die bisherigen Versuche mit Testpersonen gezeigt haben, dass der Genuss von Fliegenpilzen anscheinend sehr unterschiedliche Reaktionen hervorgerufen kann, müssen möglicherweise bestimmte psychische und physische

Voraussetzungen gegeben sein, damit es überhaupt zu einem spürbaren Wandel des Verhaltens kommt. Dass die psychische Bereitschaft zur Veränderung durchaus einen physischen Wandel bewirken kann, zeigen Versuche mit sogenannten Placebos. Dabei handelt es sich um Scheinmedikamente, denen die entscheidende Wirkstoffe der richtigen Arznei fehlen. Eine Testperson, der ein solcher Placebo verabreicht wird und die nicht weiß, ob sie das richtige Medikament oder die unwirksame Fälschung eingenommen hat, kann unter Umständen auch ohne vorhandene Inhaltsstoffe eine Wirkung spüren. So ist es beispielsweise möglich, dass jemand, der glaubt, eine Kopfschmerztablette geschluckt zu haben, plötzlich keine Beschwerden mehr hat, selbst wenn es sich bei dieser Pille um ein Placebo gehandelt hat. Auch die immer wieder beobachteten Fälle, bei denen Menschen, die sich einbildeten, Giftpilze gegessen zu haben, tatsächlich Vergiftungssymptome wie Bauchschmerzen, Brechdurchfälle und Atemnot zeigten, lassen eine solche These nicht unmöglich erscheinen.

Außerdem können auch unterschiedliche körperliche Voraussetzungen einen großen Einfluss auf den Konsum berauschender Stoffe haben. So gibt es beispielsweise im asiatischen Raum zahlreiche Menschen, bei denen ein Enzym, das den Abbau von Alkohol im Körper bewirkt, nicht in der Menge vorhanden ist, wie etwa bei Europäern. Dieses Enzym, Alkoholdehydrogenase genannt, erlaubt es einer gesunden Leber, in jeder Stunde etwa acht Gramm Alkohol abzubauen, sodass der Körper nach einer bestimmten Zeit wieder entgiftet ist. Fehlt einem Menschen die Alkoholdehydrogenase in seiner Enzymausstattung oder ist sie nicht in ausreichendem Maße vorhanden, bleibt der Alkohol im Blutkreislauf und kann schließlich größere körperliche Schäden verursachen, sodass solche Personen praktisch keinen Alkohol trinken dürfen. Gäbe es ein vergleichbares Phänomen auch bezüglich des Verzehrs von

Fliegenpilzen, ließen sich die sehr verschiedenen Reaktionen vielleicht erklären.

Es ist aber auch denkbar, dass einige Naturvölker Mittel und Wege gefunden haben, die Wirkung der Fliegenpilze zu verstärken. So existieren Berichte, nach denen sibirische Schamanen die Fliegenpilze vor dem Verzehr zunächst in den Saft der Trunkelbeere (*Vaccinium uliginosum*) einlegen, der selbst schon einen leichten Rausch erzeugen soll. In Überlieferungen aus China heißt es dagegen, Fliegenpilze (dort übrigens *tschasch baskon*, „Augenöffner“, genannt) würden zusammen mit dem Bergspringkraut (*Impatiens montana)* in Ziegenkäselake gekocht, der man vor dem Genuss dann noch Samen des Bilsenkrautes (*Hyoscyamus* spp.) beigemengte, also von einer Pflanze, die schon seit Urzeiten als magisches Kraut mit halluzinogener Wirkung bekannt ist.

Die Medizinmänner einiger Indianerstämme aus Nordamerika rauchten früher angeblich ein Gemisch aus getrockneten Fliegenpilzen und Tabak, um sich in Trance zu versetzen, da sie, wie viele ihrer Kollegen aus aller Welt glaubten, in diesem Zustand die Ursachen einer Krankheit besser erkennen zu können. Allerdings benutzten sie dazu nicht den heute normalerweise verwendete Tabakart *Nicotiana tabacum*, sondern *Nicotiana rustica*, die vierfach höhere Nikotinkonzentration aufweist.

Ein letzter Punkt, der bei der unterschiedlichen halluzinogenen Wirkung eine Rolle spielen könnte, ist die bereits erwähnte Tatsache, dass der Gehalt an Toxinen – abhängig von Standort, Klima und Jahreszeit – bei einzelnen Pilzen erheblich abweichen kann (siehe Kapitel 3), sodass ein Verzehr verschiedener Exemplare vielleicht eine unterschiedliche Wirkung hat. Gerade auf diesen Umstand soll an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen werden, um vor allen Dingen diejenigen zu warnen, die mit dem Gedanken spielen, sich auf Experimente mit Fliegenpilzen einzulassen, weil Versuche mit Giftpilzen immer ein Spiel

mit dem Tod sind. So endeten in der Schweiz immerhin zwei von sechsunddreißig bekannt gewordenen Vergiftungsfällen durch den Fliegenpilz tödlich, und aus anderen Ländern gibt es vergleichbare Zahlen. Wirklich unberechenbar wird das Risiko aber, wenn Unwägbarkeiten, die niemand einschätzen kann, etwa der unterschiedliche Gehalt an Giftstoffen, eine Rolle spielen.

Mag man den alten Wikingern, deren Lebenserwartung schon aus „beruflichen“ Gründen nicht besonders hoch einzuschätzen war, und deren Überlebenschancen ja mit jedem neuen Scharmützel weiter gegen Null ging, einen leichtsinnigen Umgang mit Fliegenpilzen noch zugestehen, so kann man diejenigen, die heutzutage aus Neugierde mit diesen unberechenbaren Pilzen experimentieren, eigentlich nur als so verrückt einstufen, dass sie des Narrenschwamms im Grunde gar nicht bedürfen.

Das Heilige Feuer

Wie vermutlich nur wenige wissen, ist eine der berüchtigtsten Massendrogen, das LSD (Abkürzung für Lysergsäurediäthylamid), ebenfalls einem Pilz zu „verdanken“ – dem sogenannten Mutterkornpilz (*Claviceps*). Dieser gehört zu den Ascomyceten und kommt parasitisch auf verschiedenen Gräsern vor, darunter zahlreichen Getreidearten. Gelangen seine Konidien im Frühjahr auf die Narbe einer Getreideblüte, keimen sie dort aus und durchwuchern mit ihrem Myzel das Pflanzengewebe. Schon kurz darauf bilden die neuen Hyphen selbst wieder unzählige, der schnellen Vermehrung dienende Konidien und zusätzlich eine süße Flüssigkeit, den sogenannten Honigtau. Der lockt Insekten an, die bei ihrem Besuch ungewollt immer auch zahlreiche Konidien mitnehmen und auf gesunde Pflanzen verschleppen, sodass innerhalb kürzester Zeit ein ganzes Getreidefeld von Mutterkornpilzen befallen sein kann. Später im Jahr werden auf den infizierten Pflanzen dann statt der Samen sogenannte Sklerotien („Mutterkörner“) gebildet, also bananenförmige, bis zu fünf Zentimeter lange, schwarzviolette Dauerstadien, die wie übergroße dunkle Getreidekörner aus der Ähre herausragen.

Durch den Befall vermindert sich natürlich der Ernteertrag ganz erheblich, aber weitaus schlimmer ist, dass die Sklerotien mehrere giftige Alkaloide (und anderem Ergotamin, Ergotoxin) enthalten, die, wenn die Mutterkörner nicht vorher aussortiert werden, über das Mehl ins Brot gelangen und so tödliche Vergiftungen hervorrufen können.

Die ersten Anzeichen sind Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindelgefühl, Erbrechen und Durchfall. Bei chronischen Vergiftungen kommt es zu Durchblutungsstörungen, verbunden mit einem Kribbeln der Haut, bevor dann in schweren Fällen die mangelnde Durchblutung von Fingern,

Zehen, Lippen und Ohren dazu führt, dass diese „brandig“ werden, also regelrecht abfaulen. Außerdem kann es durch eine Schädigung des zentralen Nervensystems zu schweren Muskelkrämpfen kommen, häufig verbunden mit Krüppelbildungen und anderen physischen Dauerschäden. Vielfach führt die Erkrankung aber auch zu einer Atemlähmung oder einem Kreislaufversagen und damit zum Tode.

Der Mutterkornpilz

Alte Chroniken berichten immer wieder über Massenvergiftungen durch den Mutterkornpilz des Roggens (*Claviceps purpurea*), bei denen es Tausende von Opfern zu beklagen gab. Die ersten Schilderungen stammen aus Frankreich, wo im Jahre 994 angeblich 4000, und bei einer weiteren Vergiftungswelle im Jahre 1041 etwa 2000 Menschen umkamen. Bis Anfang des 20. Jahrhunderts gab es dann in Europa 65 weitere schwere Epidemien, von denen eine zwischen 1770 und 1780 allein in Frankreich und Deutschland über 8000 Todesopfer gefordert haben soll.

Aber auch Kriege hat der unscheinbare kleine Pilz beeinflusst. So wird von einer besonders schweren Massenvergiftung berichtet, die sich 1722 in Russland ereignete, zu einem Zeitpunkt, als Zar Peter der Große sich gerade anschickte, einen Feldzug gegen die Türken zu unternehmen, um einen eisfreien Hafen im Süden seines Reiches zu erobern. Weil sich jedoch 20.000 Kavalleristen und ihre Pferde an mit Mutterkornpilzen verseuchtem Getreide vergifteten, konnte der geplante Angriff nicht stattfinden. Und ähnlich soll es auch Napoleon gegangen sein, dessen Soldaten und Pferde sich während des Russland-Feldzuges im Winter 1812/13 an konfisziertem Roggen vergifteten, wodurch die Niederlage des kleinen Franzosen beschleunigt wurde.

Eine große, durch Mutterkornpilze verursachte Epidemie jüngeren Datums, die angeblich über 11.000 Tote gefordert haben soll, brach 1926/27 ebenfalls in Russland aus. Dagegen fand die wohl vorerst letzte Katastrophe dieser Art 1977 in Äthiopien statt, wo die Einheimischen ihre spärlichen Vorräte an Gerste mit von *Claviceps* befallenen Wildgräsern gestreckt hatten. Berichtet wird von 136 Fällen, von denen viele mit dem Tod endeten.

Da man den Zusammenhang zwischen den Vergiftungen und den Pilzsklerotien zunächst nicht erkannte, gaben die Menschen der geheimnisvollen Krankheit die unterschiedlichsten Namen, die die Unsicherheit über die Ursachen deutlich widerspiegeln, etwa „Gottesrache“, „Kribbelkrankheit“, „Heiliges Feuer“ oder „Antoniusfeuer“. Erst im 17. Jahrhundert entdeckte man die Verbindung der ständig wiederkehrenden Epidemien mit dem Verzehr von Mutterkörnern, und danach gelang es, die Krankheit durch Saatgutreinigung und modernere Mühlentechnologien immer mehr zurückzudrängen.

Aus diesem Grund gab es bis vor einigen Jahren in den Industrienationen auch praktisch keine Vergiftungen durch Mutterkornpilze mehr, sieht man von gelegentlichen Todesfällen bei Tieren ab, die befallenes Gras oder Heu gefressen hatten. Allerdings änderte sich das in der jüngeren Vergangenheit wieder, weil viele Menschen dazu übergegangen sind, biologisch angebautes Getreide direkt vom Erzeuger oder aus Naturkostläden zu beziehen und selbst zu Mehl zu verarbeiten oder in Müsligerichten zu verwenden. Und weil die Vergiftungsgefahr durch *Claviceps*-Alkaloide praktisch in Vergessenheit geraten ist, achten die Verbraucher auch nicht mehr auf die eigentlich unverkennbaren Sklerotien, sodass ein Auftreten der Mutterkornkrankheit jetzt wieder häufiger beobachtet wird.

Allerdings hat der Mutterkornpilz in der Vergangenheit nicht nur Angst und Schrecken verbreitet, sondern er wurde auch schon sehr früh als Arzneimittel verwendet. Die ersten

schriftlichen Hinweise finden sich in einem Kräuterbüchlein des Frankfurter Arztes Adam Lonitzer (1527–1586), in dem erwähnt wird, dass Hebammen die Mutterkornsklerotien nicht nur benutzten, um Nachgeburtsblutungen zu stillen, sondern auch als Wehenmittel, denn die Einnahme eines daraus hergestellten Trankes verursacht starke Uteruskontraktionen, wodurch in vielen Fällen die Geburt eingeleitet wird (daher der Name Mutterkorn). Bekannt war aber auch, dass eine Überdosierung starke Gebärmutterkrämpfe hervorruft, die dann nicht selten zum Tode des Kindes führen, sodass der Pilz in der Vergangenheit auch für Abtreibungen benutzt wurde.

Die Entdeckung des LSD

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts begann sich auch die pharmazeutische Industrie für dieses Mittel aus der Volksheilkunde zu interessieren. Schon sehr bald gelang es, aus Mutterkörnern ein Alkaloid namens Ergobasin zu isolieren, das für die erwähnte blutstillende Wirkung verantwortlich war. Da es in den Sklerotien jedoch nur in geringen Mengen vorhanden ist, versuchte man bei der Schweizer Firma Sandoz, den Grundbaustein dieses Alkaloids, die sogenannte Lysergsäure, die aus anderen Quellen in ausreichender Menge zur Verfügung stand, synthetisch so zu verändern, dass daraus das gewünschte blutstillende Ergobasin entstand. Der Wissenschaftler, der damit beauftragt wurde und dem das schließlich auch gelang, war der bereits erwähnte Albert Hofmann (siehe Kapitel 5). In einem nächsten Schritt versuchte er dann, die Lysergsäure noch weiter zu modifizieren, in der Hoffnung, dadurch Stoffe mit neuen pharmakologischen Eigenschaften zu erhalten.

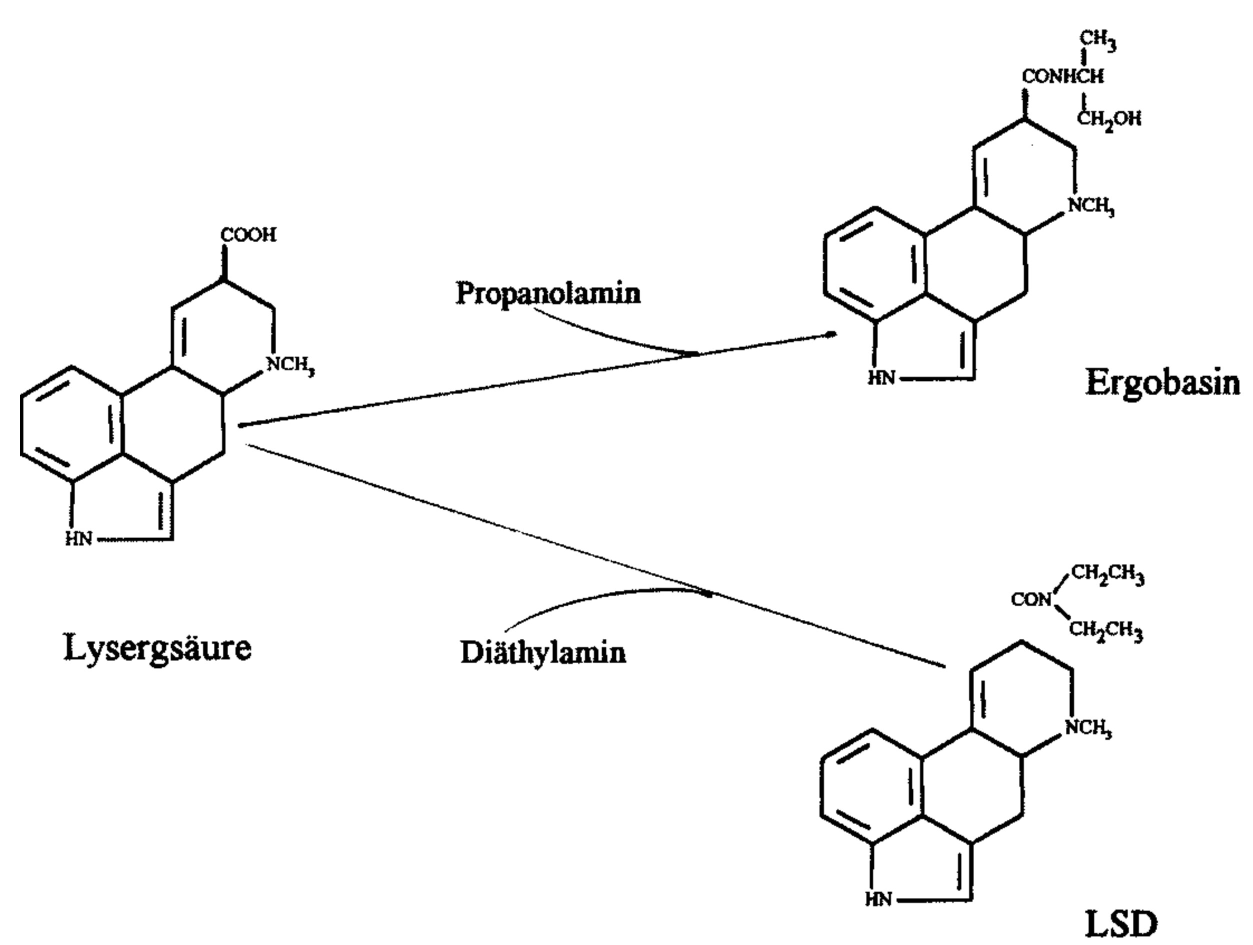


Abbildung 4: Wird Lysergsäure mit Propanolamin verknüpft, entsteht ein synthetisch hergestelltes Ergobasin, wie es natürlicherweise in Mutterkörnern vorkommt. Benutzt man statt des Propanolamins die Substanz Diäthylamin, entsteht Lysergsäurediäthylamid, das als LSD zu traurigem Ruhm gelangte.

Man schrieb das Jahr 1938, als Hofmann die fünfundzwanzigste Substanz in dieser Versuchsreihe herstellte. Es war das Lysergsäurediäthylamid, kurz LSD-25 genannt (Abbildung 4), und der Forscher hoffte, dieser Stoff würde sich als Kreislauf- und Atmungsstimulans einsetzen lassen. Als sich diese Erwartung nur teilweise erfüllte, geriet das LSD zunächst einmal in Vergessenheit.

> „Eine merkwürdige Ahnung, dieser Stoff könnte noch andere als nur die bei der ersten Untersuchung festgestellten Wirkungsqualitäten besitzen, veranlasste mich, fünf Jahre nach der ersten Synthese LSD-25 noch einmal herzustellen, um es für eine erweiterte Prüfung

> in die pharmakologische Abteilung zu geben," schrieb Hofmann später. „Das war insofern ungewöhnlich, als Prüfsubstanzen, wenn sie von pharmakologischer Seite als uninteressant befunden worden waren, in der Regel endgültig aus dem Forschungsprogramm gestrichen wurden." (Hofmann 1993)

Diese ungewöhnliche Entscheidung Hofmanns sollte weitreichende Folgen haben. Dass sich etwas Unerwartetes ankündigte, merkte der Wissenschaftler schon in der Schlussphase der Synthese, bei der er unbeabsichtigt etwas LSD-25 aufnahm. In einem Bericht an seinen Chef, den Chemiker Arthur Stoll, schildert Hofmann den ersten LSD-Rausch der Menschheitsgeschichte folgendermaßen:

> Vergangenen Freitag, 16. April 1943, musste ich mitten am Nachmittag meine Arbeit im Laboratorium unterbrechen und mich nach Hause begeben, da ich von einer merkwürdigen Unruhe, verbunden mit einem leichten Schwindelgefühl, befallen wurde. Zu Hause legte ich mich nieder und versank in einen nicht unangenehmen, rauschartigen Zustand, der sich durch eine äußerst angeregte Phantasie kennzeichnete. Im Dämmerzustand bei geschlossenen Augen – das Tageslicht empfand ich als unangenehm grell – drangen ununterbrochen phantastische Bilder von außerordentlicher Plastizität und mit intensivem, kaleidoskopartigem Farbenspiel auf mich ein. Nach etwa zwei Stunden verflüchtigte sich dieser Zustand. (Hofmann 1993)

Um der Sache auf den Grund zu gehen, entschloss sich Hofmann zu einem Selbstversuch: „Ich wollte vorsichtig sein und begann deshalb die geplante Versuchsreihe mit der kleinsten Menge, von der … noch irgendein feststellbarer Effekt erwartet werden konnte, nämlich 0,25 Milligramm

Lysergsäurediäthylamidtartrat.“ Wie sich später herausstellen sollte, war diese Menge viel zu hoch und brachte Hofmann daher auf einen Horrortrip, wie auch aus dem Versuchsprotokoll hervorgeht:

> 17 00: Beginnender Schwindel, Angstgefühl.
> Sehstörungen. Lähmungen, Lachreiz.
> Ergänzung am 21. IV.: Mit Velo nach Hause. Von 18 – ca. 20 Uhr schwerste Krise, (s. Spezialbericht)
>
> **Spezialbericht**
>
> Die letzten Worte konnte ich nur noch mit großer Mühe niederschreiben. Schon jetzt war es mir klar, dass Lysergsäurediäthylamid die Ursache des merkwürdigen Erlebnisses vom vergangenen Freitag gewesen war, denn die Veränderungen der Empfindungen und des Erlebens waren von gleicher Art wie damals, nur viel tiefgehender. Ich konnte nur noch mit größter Anstrengung verständlich sprechen und bat meine Laborantin, die über den Selbstversuch orientiert war, mich nach Hause zu begleiten. Schon auf dem Heimweg mit dem Fahrrad – ein Auto war im Augenblick nicht verfügbar, Autos waren während der Kriegszeit nur wenigen Privilegierten Vorbehalten – nahm mein Zustand bedrohliche Formen an. Alles in meinem Gesichtsfeld schwankte und war verzerrt wie in einem gekrümmten Spiegel. Auch hatte ich das Gefühl, mit dem Fahrrad nicht vom Fleck zu kommen. Indessen sagte mir später meine Assistentin, wir seien sehr schnell gefahren. Schließlich doch noch heil zu Hause angelangt, war ich gerade noch fähig, meine Begleiterin zu bitten, unseren Hausarzt anzurufen und bei den Nachbarn nach Milch zu fragen.

Trotz meines rauschartigen Verwirrtheitszustandes konnte ich für kurze Augenblicke klar und zweckgerichtet denken – Milch als unspezifisches Entgiftungsmittel.

Schwindel und Ohnmachtsgefühl wurden zeitweise so stark, dass ich mich nicht mehr aufrecht halten konnte und mich auf ein Sofa hinlegen musste: Meine Umgebung hatte sich nun in beängstigender Weise verwandelt. Alles im Raum drehte sich, und die vertrauten Gegenstände und Möbelstücke nahmen groteske, meist bedrohliche Formen an. Sie waren in dauernder Bewegung, wie belebt, wie von innerer Unruhe erfüllt. Die Nachbarsfrau, die mir Milch brachte – ich trank im Verlauf des Abends mehr als zwei Liter –, erkannte ich kaum mehr. Das war nicht mehr Frau R., sondern eine bösartige, heimtückische Hexe mit einer farbigen Fratze. Aber schlimmer als diese Verwandlungen der Außenwelt ins Groteske waren die Veränderungen, die ich in mir selbst, an meinem inneren Wesen spürte. Alle Anstrengungen meines Willens, den Zerfall der äußeren Welt und die Auflösung meines Ich aufzuhalten, schienen vergeblich. Ein Dämon war in mich eingedrungen und hatte von meinem Körper, von meinen Sinnen und von meiner Seele Besitz ergriffen. Ich sprang auf und schrie, um mich von ihm zu befreien, sank dann aber wieder machtlos auf das Sofa. Die Substanz, mit der ich hatte experimentieren wollen, hatte mich besiegt. Sie war der Dämon, der höhnisch über meinen Willen triumphierte. Eine furchtbare Angst, wahnsinnig geworden zu sein, packte mich. Ich war in eine andere Welt geraten, in andere Räume mit anderer Zeit. Mein Körper erschien mir gefühllos, leblos, fremd. Lag ich im Sterben? War das der Übergang? Zeitweise glaubte ich außerhalb meines Körpers zu sein und erkannte dann klar, wie ein außen stehender Beobachter, die ganze Tragik meiner Lage. Sterben ohne

Abschied von meiner Familie – meine Frau war mit unseren drei Kindern an diesem Tag zu ihren Eltern nach Luzern gefahren. Ob sie jemals verstehen würde, dass ich nicht leichtsinnig, verantwortungslos, sondern äußerst vorsichtig experimentiert hatte und dass ein solcher Ausgang in keiner Weise vorauszusehen war? Nicht nur, dass eine junge Familie vorzeitig ihren Vater verlieren sollte, auch der Gedanke, meine Arbeit als Forschungschemiker, die mir soviel bedeutete, mitten in fruchtbarer, zukunftsreicher Entwicklung unvollendet abbrechen zu müssen, steigerte meine Angst und Verzweiflung. Dazwischen tauchte voll bitterer Ironie die Überlegung auf, dass ebendieses Lysergsäurediäthylamid, das ich in die Welt gesetzt hatte, mich nun zwang, sie vorzeitig zu verlassen.

Der Höhepunkt meines verzweifelten Zustandes war bereits überschritten, als der Arzt eintraf. Meine Laborantin klärte ihn über meinen Selbstversuch auf, da ich selbst noch nicht fähig war, einen zusammenhängenden Satz zu formulieren. Nachdem ich ihn auf meinen vermeintlich vom Tode bedrohten körperlichen Zustand hinzuweisen versucht hatte, schüttelte er ratlos den Kopf, da er außer extrem weiten Pupillen keinerlei abnorme Symptome feststellen konnte. Puls, Blutdruck und Atmung waren normal. Er verabfolgte daher keine Medikamente, trug mich ins Schlafzimmer und wachte an meinem Bett. Langsam kam ich nun wieder aus einer unheimlich fremdartigen Welt zurück in die vertraute Alltagswirklichkeit. Der Schrecken wich und machte einem Gefühl des Glücks und der Dankbarkeit Platz, je mehr normales Fühlen und Denken zurückkehrten und die Gewissheit wuchs, dass ich der Gefahr des Wahnsinns endgültig entronnen war.

Jetzt begann ich allmählich das unerhörte Farben- und Formenspiel zu genießen, das hinter meinen geschlossenen Augen andauerte. Kaleidoskopartig sich

verändernd, drangen bunte, phantastische Gebilde auf mich ein, in Kreisen und Spiralen sich öffnend und wieder schließend, in Farbfontänen zersprühend, sich neu ordnend und kreuzend, in ständigem Fluss: Besonders merkwürdig war, wie alle akustischen Wahrnehmungen, etwa das Geräusch einer Türklinke oder eines vorbeifahrenden Autos, sich in optische Empfindungen verwandelten. Jeder Laut erzeugte ein in Form und Farbe entsprechendes, lebendig wechselndes Bild.

Erschöpft schlief ich dann ein und erwachte am nächsten Morgen erfrischt mit klarem Kopf, wenn auch körperlich noch etwas müde…

Dieser Selbstversuch zeigte, dass es sich bei LSD-25 um einen psychoaktiven Stoff mit außergewöhnlichen Eigenschaften handelte. Es war meines Wissens noch keine Substanz bekannt, die in so extrem niedriger Dosierung so tiefgreifende psychische Wirkungen hervorrief und derartig dramatische Veränderungen im Erleben der äußeren und der inneren Welt und im Bewusstsein des Menschen erzeugte…

Ich war mir bewusst, dass der neue Wirkstoff LSD mit derartigen Eigenschaften in der Pharmakologie, in der Neurologie und ganz besonders in der Psychiatrie von Nutzen sein müsse und das Interesse der Fachgelehrten wecken werde. Allerdings konnte ich mir damals aber nicht vorstellen, dass die neue Substanz außerhalb des medizinischen Bereichs später auch in der Drogenszene als Rauschmittel gebraucht werden konnte. So wie ich LSD bei meinem ersten Selbstversuch in seiner erschreckenden Dämonie erlebt hatte, konnte ich gar nicht auf den Gedanken kommen, dieser Stoff könne jemals sozusagen als Genussmittel Anwendung finden. (Hofmann 1993)

Aber genau das geschah. LSD wurde in den siebziger Jahren zur Massendroge Nummer 1.

Der Aufstieg zur Massendroge

Entscheidenden Anteil hatte daran der häufig als „LSD-Apostel“ apostrophierte Timothy Leary (1920–1996), eine der Leitfiguren der Hippiebewegung. Leary arbeitete als Psychologe an der Harvarduniversität in Boston, als er während eines Urlaubs in Mexiko im Jahre 1960 von einem Medizinmann die bereits erwähnten „göttlichen Pilze“ (siehe Kapitel 5) erstand und so seine ersten Erfahrungen mit halluzinogenen Drogen machte. Unter diesem Eindruck beschloss er, sich in seiner wissenschaftlichen Arbeit ganz auf die Wirkung und Anwendungsmöglichkeiten psychedelischer Drogen (psychedelisch = die Seele entfaltend) zu konzentrieren. Die dabei formulierten Ziele muten heute etwas seltsam an. Untersucht werden sollten etwa die Möglichkeiten einer besseren Wiedereingliederung von Strafgefangenen oder die Förderung der Kreativität von Künstlern.

Allerdings verkamen diese Erhebungen, an denen zeitweise auch so bekannte Persönlichkeiten wie die Schriftsteller Aldous Huxley, Arthur Koestler und Allen Ginsberg mitwirkten, sehr bald zu reinen LSD-Partys, für die sich die Studenten in Massen als freiwillige Testpersonen meldeten. In dieser Zeit bestellte Leary bei der Firma Sandoz 100 Gramm reines LSD und 25 Kilogramm Psilocybin – Mengen, die für eine Million LSD- und zweieinhalb Millionen Psilocybin-Trips ausgereicht hätten. Allerdings verweigerte der Pharmakonzern eine solche Lieferung.

Erwartungsgemäß dauerte es nicht allzu lange, bis die Universität beschloss, Leary aus ihren Diensten zu entlassen. Dies geschah jedoch zu spät, um ein Überschwappen auf andere Institute des Landes zu verhindern. Vielmehr verhalf diese Maßnahme Leary zu

weiterer Popularität, sodass er vor allem bei den jüngeren Menschen noch mehr Gehör fand. Seine Erfahrungsberichte, nach denen LSD nicht nur ein ausgezeichnetes Mittel zur Selbstfindung, sondern außerdem ein fantastisches Aphrodisiakum war, wurden begeistert angenommen.

Endgültig zum Märtyrer wurde Leary, als ihn 1966 ein texanisches Gericht in einem völlig überzogenen Urteil wegen illegaler Einfuhr von Marihuana und Steuerhinterziehung zu 33 Jahren Gefängnis verurteilte. Bereits einige Jahre später verhalf ihm allerdings eine militante, linksgerichtete amerikanische Untergrundorganisation, die Weathermen, zur Flucht, die ihn über Algerien in die Schweiz und später nach Afghanistan führte. Dort wurde er 1973 von Agenten des amerikanischen Geheimdienstes verhaftet und in die USA gebracht, wo er erneut zu einer langjährigen Haftstrafe verurteilt wurde, denn es hatte sich herausgestellt, dass die von Leary gegründete „Brotherhood of Eternal Love“ (Bruderschaft der ewigen Liebe) nichts weiter als eine gigantische Drogenmafia war. So wurden in einem ihrer Labors 50.000 LSD-Tabletten sichergestellt und Rohmaterial für weitere 14 Millionen Trips, und wie man später errechnete, muss die Bruderschaft in ihrer Glanzzeit wöchentlich Drogen im Werte von über vier Millionen Dollar in Umlauf gebracht haben, vor allem durch den berüchtigten Rockerklub „Hells Angels“.

Auch wenn die psychedelische Bewegung damit zunächst einmal ihrer Leitfigur beraubt war – Leary wurde erst 1976 wieder in die Freiheit entlassen –, so ließ sich der Siegeszug des LSD dennoch längst nicht mehr aufhalten. Besonders zahlreiche Rockmusiker experimentierten in dieser Zeit mit bewusstseinserweiternden Drogen und sorgten durch ihre Vorbildfunktion für eine beschleunigte Verbreitung. Viele von ihnen wollten sich durch den Drogenkonsum nicht nur von ihren spießigeren Mitbürgern unterscheiden, sondern erhofften außerdem einen fördernden Einfluss auf die Qualität ihrer Arbeit. „Ohne das Zeug bringe ich meine

Musik nicht“, meinte beispielsweise der Gitarrist Eric Clapton, und die Mitglieder der Gruppe „Jefferson Airplane“ behaupteten gar, „sie würden von Liebe und Drogen leben.“ (Hoffmann 1981)

Selbst der durch Drogen verursachte Tod von Janis Joplin, Jimi Hendrix, Brian Jones und anderen Rockstars konnte diese Entwicklung nicht aufhalten. Dabei gilt die Wirkung halluzinogener Drogen auf die künstlerische Schaffenskraft als außerordentlich umstritten. Nach allgemeiner Auffassung ist das Empfinden stark abhängig von den Erwartungen und Suggestionen des Konsumenten. Viele Musiker glaubten, unter Drogeneinfluss unheimlich gut zu spielen, was sich bei einem späteren Anhören der Aufnahme aber als Trugschluss erwies. So sagte ein Mitglied der deutschen Jazz-Rock-Gruppe Sahara: „… wir [konnten] nicht mehr beurteilen ob wir gut spielten oder schlecht. Es kam uns gut vor und in Wirklichkeit kam nur Mist dabei heraus.“ (Hoffmann 1981)

Sehr ähnlich äußerte sich auch Pete Townshend, Kopf der englischen Gruppe „The Who“, die in den sechziger und siebziger Jahren eine Reihe von Hits produzierte, die fast ausschließlich von Townshend geschrieben wurden:

> „Mich beunruhigte der Gedanke, dass ich, wenn ich aufhören würde mit Drogen, ein langweiliger Mensch werden würde. Dass ich, wenn überhaupt, nicht mehr so gut würde schreiben können. Und siehe da: Als ich mit Drogen aufhörte, fiel mir das Schreiben in mancher Hinsicht leichter. Es fiel mir nicht nur leichter, ich schrieb auch besser. Ich spielte besser. Ich kam besser mit den Leuten zurecht. Es ging aufwärts mit meinem Leben. Deshalb fühlte ich mich betrogen. ‚Um Himmelswillen‘, sagte ich mir, ‚die ganze Zeit hast du die Drogen angebetet. Du hast nie zu glauben gewagt, dass du Talent und Glück hast und in Ordnung bist. Du hast gemeint, dass du selbst nur ein Dreck bist, dass aber Drogen dir helfen.‘ Ich war wütend auf mich selbst,

> weil ich so viel Zeit verschwendet hatte. Ich war wütend, weil ich so dumm gewesen war, ihnen vollkommen zu vertrauen.“ (Hoffmann 1981)

Auch in der Malerei entstand unter Mithilfe halluzinogener Drogen eine eigene Kunstrichtung, die sogenannte „psychedelische Kunst“. Allerdings wurden die Werke normalerweise erst nach Abflauen der Rauschwirkung geschaffen, da, wie Albert Hofmann schreibt:

> „... die Ausführung der bildnerischen Tätigkeit [während des Rauschzustandes] erschwert, wenn nicht gar unmöglich ist ... Die im LSD-Rausch entstandenen Produktionen weisen daher meist rudimentären Charakter auf und verdienen nicht ihres künstlerischen Wertes wegen Beachtung, sondern sind vielmehr als eine Art Psychogramm zu betrachten, das Einblick in die von LSD aktivierten, ins Bewusstsein gebrachten seelischen Tiefenstrukturen des Künstlers vermitteln.“ (Hofmann 1993)

Alle Versuche, die Ausbreitung halluzinogener Drogen einzuschränken, waren zunächst wenig von Erfolg gekrönt. 1970 wurden allein in der Bundesrepublik Deutschland – und die war in Bezug auf Drogen tiefste Provinz – 178.925 LSD-Trips sichergestellt, wobei nach realistischen Schätzungen etwa die zehnfache Menge im Umlauf war.

Nach einem deutlichen Abflauen der LSD-Welle (1986 beschlagnahmte man nur noch 22.000 Trips), nahm der Gebrauch der Droge in den letzten Jahren wieder zu. Inzwischen „Acid“ – die Säure – genannt, erfuhr die Droge mit dem Aufkommen der Technokultur einen erneuten Aufschwung. Besonders die Teilnehmer an den häufig mehrere Tage andauernden Tanzmarathons verwenden neben anderen Drogen häufig LSD, um ihre kräfteraubenden Wochenenden zu überstehen.

Aber auch die Hauptfiguren des LSD-Drogenkults, Timothy Leary und Albert Hofmann, wurden nicht vergessen. Bei einer Veranstaltung, die 1987 unter dem Motto „Messe der Erleuchtungen“ in Hamburg stattfand, waren sie als Ehrengäste anwesend, und 1993 veranstaltete die Szene anlässlich der fünfzigsten Wiederkehr des Selbstversuchs Hofmanns, nach dem er schwankend mit dem Fahrrad nach Hause gefahren war, im Londoner Hyde Park ein „bicycle race“.

In der medizinischen Praxis, also dem geplanten Anwendungsgebiet, hat LSD dagegen bisher kaum eine Rolle gespielt, nicht zuletzt, weil es, um eine weitere Eskalation zu verhindern, auch in der Therapie sehr schnell verboten wurde. Hofmann hat dies stets bedauert, da, wie er meinte, der Gebrauch der Droge im medizinischen Rahmen ungefährlich sei, und das LSD deswegen in der Psychiatrie als medikamentöses Hilfsmittel nutzbringend eingesetzt werden könnte, während zahlreiche Experten einer solchen Auffassung widersprechen.

Eine Beurteilung dieser Diskussion ist schwierig, da man auch heute noch sehr wenig über den genauen physiologischen Einfluss von LSD, wie auch von Psilocybin und Psilocin weiß. Ganz augenscheinlich wirken diese Drogen, die eine strukturelle Ähnlichkeit mit bestimmten hormonartigen Hirnsubstanzen wie Serotonin haben, vor allen Dingen auf das Limnische System und das Retikuläre System des Stamm- und Zwischenhirns, also auf Regionen, die für die emotionalen Sinnesreize verantwortlich sind.

Angesichts der unzähligen Drogenopfer, die bis heute zu beklagen sind, und von denen viele den Einstieg auch über das LSD fanden, mag einem diese Diskussion aber sowieso akademisch erscheinen, sodass man geneigt ist, Arthur Stoll, dem früheren Chef der Firma Sandoz zustimmen, der einst zu Hofmann sagte. „Es wäre mir lieber, Sie hätten LSD nie erfunden.“ (Hofmann 1993)

Irish Connection

Wohl keine Stadt außerhalb Irlands ist so irisch geprägt wie Boston an der Ostküste der USA. Nicht nur die Architektur erinnert an die Hauptstadt der Grünen Insel, sondern hier gibt es fast so viele irische Pubs wie in Dublin, es wird Dart gespielt, gälischer Fußball und das berühmte Basketballteam der Boston Celtics trägt seine Herkunft sogar im Namen. Fast alle Bürgermeister, die die Metropole an der Ostküste der Vereinigten Staaten in diesem Jahrhundert regierten, waren Amerikaner irischer Abstammung, und der frühere Präsident John F. Kennedy hatte seine Wurzeln ebenfalls in dieser Bevölkerungsgruppe.

Aber nicht nur in Boston leben sehr viele Menschen irischer Herkunft, sondern auch an der Gesamteinwohnerzahl der USA ist der Anteil dieser Bevölkerungsgruppe mit über 15 Prozent sehr hoch. Insgesamt gibt es in den Vereinigten Staaten etwa 40 Millionen irischstämmige Menschen – fast zehnmal so viel wie Iren in Irland leben. Forscht man nach, warum so viele Amerikaner Vorfahren von der grünen Insel haben, stellt man sehr schnell fest, dass ein unscheinbarer kleiner Pilz mit dem wissenschaftlichen Namen *Phytophthora infestans* daran einem sehr großen Anteil hat, denn dieser winzige Pflanzenschädling, der die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel verursacht, hatte Mitte des letzten Jahrhunderts mehrere Jahre hintereinander die Kartoffelernte in Irland vernichtet, sodass es zu einer großen Hungersnot kam, die unzählige Todesopfer forderte und zu einer gewaltigen Auswanderungswelle führte.

Die Kartoffelfäule

Die Kartoffel – ursprünglich in den südamerikanischen Anden heimisch – war schon Mitte des 16. Jahrhunderts nach Europa gelangt, ohne zunächst jedoch größere wirtschaftliche Bedeutung zu erlangen, denn in den meisten Ländern war wegen der Dreifelderwirtschaft (Wintergetreide-Sommergetreide-Brache) kein Platz für dieses exotische Gewächs. Etwas anders verhielt es sich allerdings im Vereinigten Königreich, wo es mit Wales, Schottland und Irland drei besonders arme Regionen gab, die auf billige Nahrungsmittel angewiesen waren. Und weil gerade das gemäßigte, feuchte Klima sowie die sandig-lehmigen Böden Irlands ideale Bedingungen für den Anbau der Kartoffel boten, gewann diese Nutzpflanze dort schnell an Bedeutung. Daher drehte sich in Irland schon bald fast alles um die Kartoffel, die hauptsächlich in platzsparenden Hügelbeeten angebaut wurde. Dank dieser Technik reichte nun schon ein halber Morgen Ackerland aus, um eine ganze Familie zu ernähren. Und so besaßen viele Iren, die zuvor eher von der Hand in den Mund gelebt hatten, plötzlich ein Nahrungsmittel, mit dem es sich auskommen ließ, denn die Kartoffel enthält fast doppelt so viel Kohlenhydrate wie Getreide.

Als Folge der verbesserten Lebensbedingungen ging schon bald auch die besonders hohe Kindersterblichkeit in Irland zurück, sodass die Bevölkerung der Insel plötzlich kräftig zu wachsen begann. Mitte des 17. Jahrhunderts hatten in Irland ungefähr 500.000 Menschen gelebt, etwa 100 Jahre später waren es bereits eineinhalb Millionen und bis 1840 war die Bevölkerung sogar auf unglaubliche neun Millionen Einwohner angewachsen, was einem Zuwachs von 600 Prozent entspricht.

Die Kartoffel war in Irland allgegenwärtig: Viele Fischer verkauften ihren gesamten Fang auf dem Markt und ernährten sich dafür von Kartoffeln; Brot bestand zur Hälfte aus Kartoffelstärke und natürlich trank man Kartoffelbier. Irische Männer aßen pro Tag durchschnittlich etwa fünf

Kilogramm Kartoffeln, und einem zeitgenössischen Bericht zufolge bestand die Nahrung der Iren Ende des 18. Jahrhunderts zehn Monate des Jahres aus Kartoffeln und Milch und zwei Monate aus Kartoffeln und Salz.

Aber dann geschah etwas Ungeheuerliches. Am 23. August 1845 meldete der Garden Chronicle: „Bei den Kartoffeln ist eine verheerende Krankheit ausgebrochen“, wobei zunächst aber noch unklar war, um was für eine Seuche es sich handelte. Tatsache war, dass die Blätter braune Flecken bekamen und die Pflanze bald darauf einging. Aber auch die Knollen, die noch geerntet werden konnten, erwiesen sich zumeist als ungenießbar.

Gerade in Irland, wo die Kartoffelpflanzen dicht an dicht standen, breitete sich die Krankheit schnell aus, und weil niemand wusste, welche Ursachen dieser Epidemie zugrunde lagen, erging man sich in gewagten Spekulationen. So wurde vermutetet, die Kartoffeln hätten wegen des in jenem Jahr ziemlich verregneten Sommers zu viel Wasser aufgenommen, sodass sie nun verfaulten. Andere meinten, die Luft würde durch immer schneller fahrende Dampflokomotiven elektrisch aufgeladen, was das Wachstum der Pflanzen in negativer Weise beeinflusse, und nicht wenige Protestanten waren fest davon überzeugt, dass die Vernichtung der Kartoffeln eine Strafe Gottes sei, die dieser den Katholiken zugedacht hatte.

Zumindest der verregnete Sommer des Jahres 1845 stand tatsächlich in direktem Zusammenhang mit den Ernteeinbußen, denn unter feuchtwarmen Bedingungen gedeiht *Phytophthora infestans* besonders gut. Und für die Ausbreitung der Sporen tat der in Irland fast ständig wehende Wind ein Übriges. Ende 1845 waren daher etwa Dreiviertel der gesamten Kartoffelernte Irlands vernichtet.

Durch ein von London schnell eingeleitetes Hilfsprogramm – die grüne Insel gehörte damals noch in ihrer Gesamtheit zum Vereinigten Königreich – gelang es, die schlimmste Not zu lindern. Aber als der Pflanzenschädling im folgenden

Sommer, der selbst für irische Verhältnisse wieder ungewöhnlich feucht und windig war, noch einmal optimale Bedingungen für seine Ausbreitung vorfand, kam es zur fast völligen Vernichtung der Kartoffelernte.

In Irland begann man zu hungern, und als Folge davon suchten die Menschen ihr Heil in der Flucht, wobei die Vereinigten Staaten von Amerika zum Hauptziel der Emigranten wurden. Wie sich zeigen sollte, hatten alle, die diesen Weg einschlugen, eine gute Entscheidung getroffen, denn in Irland folgte dem Katastrophensommer 1846 ein besonders strenger Winter, sodass sich die Lage auf der Insel weiter zuspitzte. Aber auch der nächste Sommer brachte keine Linderung, und so waren schon Anfang August wieder nahezu 80 Prozent der Kartoffelernte vernichtet.

Das war das Ende. Die durch die vorangegangenen Hungerjahre geschwächten Menschen begannen an Unterernährung zu sterben. Und obwohl versucht wurde, die größte Not durch Gemeinschaftsküchen zu lindern, ließ sich das Unheil nicht aufhalten. Alltäglich starben Hunderte von Menschen, sodass man die Leichen kaum schnell genug unter die Erde bringen konnte. Typhus und Cholera begannen sich auszubreiten und verschlimmerten das Elend. Außerdem kam es zu zahlreichen Fehlgeburten, und die Säuglingssterblichkeit schnellte auf 65 Prozent. Aber auch die überlebenden Kinder waren häufig geistig behindert, eine weitere Begleiterscheinung der Kartoffelfäule, denn, wie erst 1974 festgestellt wurde, enthalten von diesem Pilz befallene Kartoffeln, die von den Iren in ihrer Not natürlich noch gegessen wurden, ein Alkaloid, das Fehlgeburten verursachen oder zu Hirnschädigungen bei Kindern führen kann.

Als sich die Verhältnisse 1851 ein wenig zu normalisieren begannen, konnte man Bilanz ziehen. Die Zahlen waren erschütternd: Mindestens eine Million Tote hatten die durch den kleinen Pilz verursachten Hungersnöte gefordert, und noch einmal so viele Menschen waren von der Insel

geflohen. Die Zahl der auswanderungswilligen Iren blieb aber auch in den folgenden Jahren noch weiterhin sehr hoch, sodass sich die Bevölkerung Irlands zwischen 1846 und 1900 etwa halbierte. Aber man zog auch Lehren aus der Katastrophe, denn der Brauch des Kartoffelfeuers, also des Verbrennens der Blätter und Pflanzenrückstände nach der Ernte, ist nicht weiter als der Versuch, möglicherweise vorhandene Sporen zu vernichten bevor im nächsten Frühjahr neue Setzkartoffeln auf das Feld kommen.

Brandpilze

Neben *Phytophthora infestans* gibt es aber noch eine Reihe weiterer pilzlicher Nutzpflanzenschädlinge, von denen viele gewaltige Ernteeinbußen verursachen können. So gehen Schätzungen davon aus, dass alljährlich bis zu 30 Prozent der Welternte durch pflanzenpathogene Pilze vernichtet werden. Einen nicht unerheblichen Anteil haben daran die Brandpilze, unter denen die Menschheit wohl schon sehr lange leidet. So kann man bereits in der Bibel in den Drohungen des Propheten Amos gegen die schwelgerischen Frauen von Samaria nachlesen:

> „Höret dieses Wort, ihr fetten Kühe, die ihr auf dem Berge Samarias seid und den Geringen Gewalt antut und schindet die Armen und sprecht zu euren Herren: Bringt her, lass uns saufen! … Ich plagte euch mit dürrer Zeit und Getreidebrand … dennoch bekehrt ihr euch nicht zu mir, spricht der Herr.“ (Amos 4, 1–9)

Obwohl eine wirtschaftlich nicht unbedeutende Gruppe, sind die Brandpilze nicht so gut untersucht, dass sich ihre systematische Stellung eindeutig festlegen lässt. Viele Mykologen rechnen sie zu den Basidiomyceten, aber es gibt auch andere Einordnungsversuche. Fest steht, dass es sich ausschließlich um Pflanzenparasiten handelt, deren bisher

bekannten knapp 1000 Arten in rund 50 Gattungen etwa 4000 verschiedene Pflanzen befallen können, darunter viele Getreidearten.

Der Lebenszyklus dieser ungewöhnlichen Organismen beginnt damit, dass im Boden überwinternde Brandpilzsporen die Sämlinge einer Wirtspflanze infizieren, um anschließend deren gesamtes Gewebe zu durchwuchern. Gelangen die Hyphen dabei in bestimmte, für den jeweiligen Brandpilz typische Organe, beispielsweise die Blüte, werden plötzlich unzählige Querwände in die Hyphen einzogen und das Myzel zerfällt in Einzelzellen, die durch eine mehrschichtige Wand geschützt sind. Diese sogenannten Brandsporen werden in ungeheuren Mengen produziert und verleihen der Wirtspflanze das verbrannte Aussehen, dem dieser Pilzgruppe ihren Namen verdankt. Durch den Wind, aber auch bei der Ernte, werden die Sporen, die oft jahrelang infektiös bleiben, dann verbreitet, um später, wenn in ihrer Nähe wieder die richtige Wirtspflanze angebaut wird, ihr zerstörerisches Werk zu beginnen.

Früher gelangten Brandpilze häufig auch zusammen mit dem Saatgut auf die Felder, weil sich die Getreidekörner bei der Ente oder bei der Lagerung mit Sporen infiziert hatten. Diese Art der Verbreitung war für die Parasiten besonders günstig, weil sie nur warten mussten, dass das Saatgut auf den Acker gebracht wurde und auskeimte. Dieser Gefahr begegnet man heute hauptsächlich durch chemische Saatgutbeizung, aber auch durch die Züchtung resistenter Sorten, sodass die Ernteverluste durch Brandpilze in neuerer Zeit sehr viel geringer ausfallen als früher.

Es gibt allerdings auch Arten, denen man mit der chemischen Keule oder anderen Gegenmaßnahmen nicht so leicht zu Leibe rücken kann, weil sie durch einen speziellen Lebenszyklus gegen die herkömmlichen Methoden der Saatgutreinigung geschützt sind: Gelangen ihre Sporen durch den Wind oder durch Insekten auf die Narbe einer

Wirtspflanze, keimen sie dort aus und wachsen über den Griffel in den Fruchtknoten. Dort infizieren sie den Pflanzenembryo und gehen anschließend in ein Ruhestadium über, das viele Jahre andauern kann. In der sicheren Position im Inneren eines Saatkorns ist dem Parasiten mit äußerlich angewendeten Chemikalien natürlich nicht beizukommen. Aktiv wird er, sobald das Getreidekorn aufs Feld gelangt und dort auskeimt. Anschließend durchwuchert er das Wirtsgewebe, um dann wieder massenhaft Brandsporen zu bilden, die anschließend andere Pflanzen infizieren.

Diesen Brandpilzarten konnte man bis vor einigen Jahren nur dadurch bekämpfen, dass man das Saatgut eine Zeit lang in heißes Wasser tauchte. Allerdings wurden durch diese Methode auch viele Getreidekörner geschädigt, sodass gleichzeitig nicht unerhebliche Ausfälle des Saatguts in Kauf genommen werden mussten. Inzwischen ist es jedoch gelungen, Fungizide zu entwickeln, mit denen sich auch Brandpilze bekämpfen lassen, die Embryoinfektionen verursachen. Daher haben selbst diese Arten heute etwas von ihrem Schrecken verloren.

Zu den bekanntesten Vertretern der Brandpilze gehören:

– der Haferflugbrand (*Ustilago avenae*), der früher in den großen Monokulturen Nordamerikas stellenweise Ernteeinbußen von bis zu 90 Prozent verursachte;
– der Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*), der verdächtigt wird, Aborte bei Rindern und Schweinen zu verursachen;
– der Weizensteinbrand (*Tilletia caries*), auch Stinkbrand genannt, der Histamine ausscheidet, die aus befallenem Getreide hergestelltem Mehl einen unangenehmen Fischgeruch verleihen;
– der Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*), durch den es zur Verlangsamung der Gewichtszunahme bei Haustieren kommt, wenn befallenes Getreide verfüttert wird;
– der Flugbrand des Weizens und der Gerste (*Ustilago nuda*), der – trotz aller Gegenmaßnahmen – in Einzelfällen auch

heute immer noch Ernteeinbußen von bis zu 50 Prozent verursachen kann.

Rostpilze

Weitaus größere Schäden werden allerdings von einer anderen Gruppe von Pflanzenparasiten angerichtet, den Rostpilzen, von denen viele auf ihren Wirtspflanzen rötliche oder braune Lager bilden, sodass diese wie verrostet aussehen. Ihre Stellung im System ist ähnlich unsicher wie die der Brandpilze, denn einige Experten rechnen sie zu den Basidiomyceten, andere sprechen ihnen einen eigenen taxonomischen Rang zu.

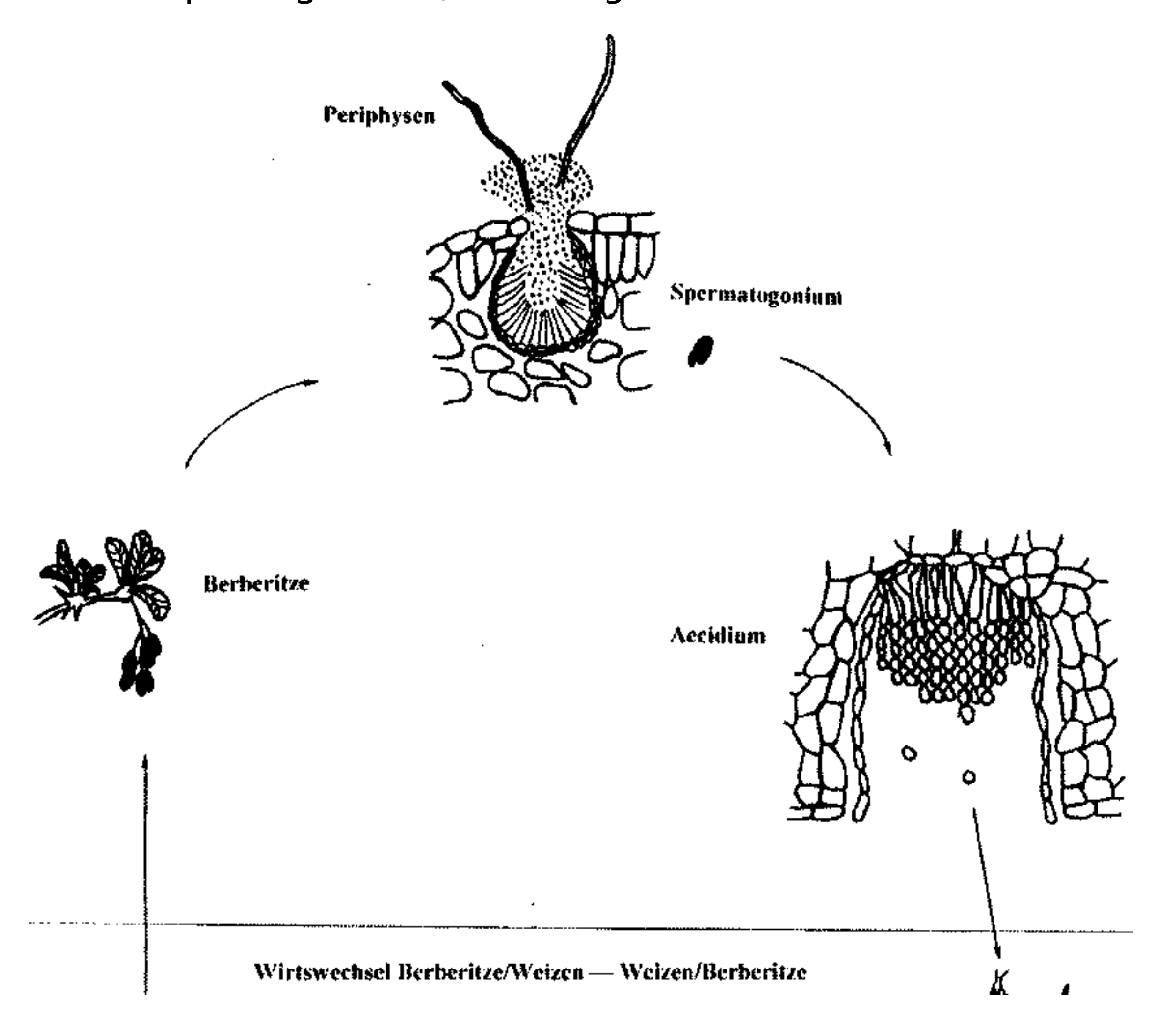
Rostpilze machen dem Menschen vermutlich schon sehr lange zu schaffen. So weiß man von den Römern, dass sie zu Ehren des Gottes Robigus (lateinisch „robigo“ = Rost) im Frühjahr Opferfeste, sogenannte Robigalien, feierten, bei denen sie Tiere, vorzugsweise rötlich-braune Hunde opferten, in der Hoffnung, dass die Ernte dadurch vor Rostpilzen geschützt war.

Als Wirtspflanzen dienen den Rostpilzen eine Vielzahl von Zier- und Nutzpflanzen, beispielsweise Rosen, Malven, Nelken, Löwenmäulchen oder Sonnenblumen, ebenso wie Stangenbohnen, Erbsen, Spargel, Brombeeren oder Schwarze Johannisbeeren. Größere wirtschaftliche Bedeutung erhalten sie jedoch erst dadurch, dass sie Getreidearten befallen. Daher kam es bis Mitte unseres Jahrhunderts immer wieder zu regelrechten Epidemien, denen nicht selten Hungersnöte folgten.

Besonders gefürchtet war diesbezüglich der Schwarzrost (*Puccinia graminis*), der zwar in Mitteleuropa und anderen Gebieten mit gemäßigtem Klima weniger gefährlich ist, in wärmeren Regionen aber gewaltige Schäden anrichteten kann. So gab es noch zu Beginn des letzten Jahrhunderts vor allem in den USA sowie in Süd- und Osteuropa immer wieder große Schäden zu beklagen, und ähnliches gilt auch

für Australien, wo es bei einem epidemieartigen Auftreten des Getreide-Schwarzrostes im Jahre 1964 zu Einbußen kam, die auf 10 Millionen Dollar geschätzt wurden.

Rostpilze sind in vielerlei Hinsicht erstaunliche Organismen. Besonders erwähnenswert ist aber wohl der Umstand, dass sie, im Gegensatz zu den meisten anderen Pilzen, nicht nur eine einzige Art von Sporen bilden, sondern teilweise bis zu fünf unterschiedliche Formen, die sich zudem noch auf verschiedenen Wirtspflanzen entwickeln. Dadurch kommt es in vielen Fällen zu beinahe abenteuerlich anmutenden Lebenszyklen, und man muss sich fast ein wenig wundern, wie es diesen Organismen angesichts ihrer komplizierten und umständlichen Angriffsstrategien überhaupt möglich ist, so erfolgreich zu sein.



Wirtswechsel Berberitze/Weizen — Weizen/Berberitze

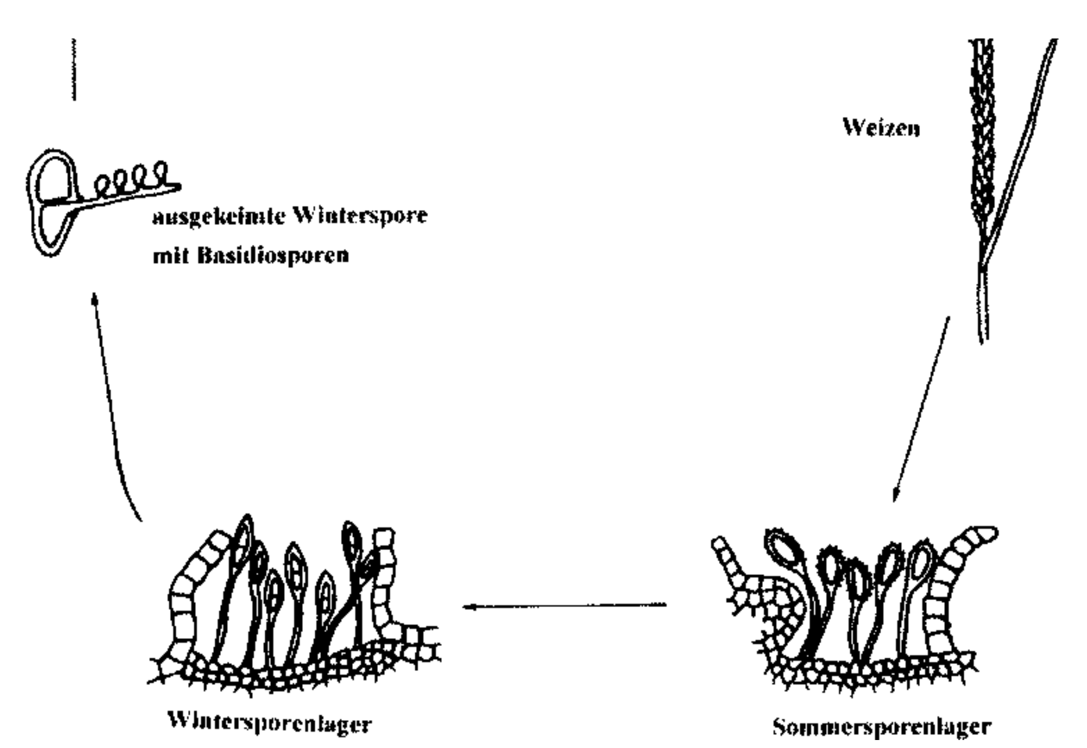


Abbildung 5: Viele Rostpilzarten, zum Beispiel der gefürchtete Schwarzrost des Getreides (Puccinia graminis), besitzen einen komplizierten Lebenszyklus mit bis zu fünf verschiedenen Sporengenerationen und einem obligaten Wirtswechsel. (nach Alexopoulos 1966)

Am Beispiel des gut untersuchten Schwarzrostes soll ein solcher Zyklus kurz dargestellt werden (Abbildung 5). Er beginnt damit, dass die Sporen des Rostpilzes im Frühjahr auf Berberitzen (*Berberis* spp.) oder Mahonien (*Mahonia* spp.) gelangen, dort auskeimen und mit ihren Hyphen in die Blätter der Wirtspflanzen eindringen. Die infizierten Blätter des Strauches werden anschließend vom Pilzgeflecht durchwuchert, wobei die befallenen Zellen des Wirtes geschädigt werden, was zumeist an einer deutlichen Verfärbung zu erkennen ist. Schon bald darauf entstehen dann an der Blattoberseite winzige flaschenförmige Gebilde, Spermatogonien genannt, in denen jetzt die erste Sporengeneration entsteht, die Spermatien. Diese tragen – genau wie der Pflanzenpollen oder die Geschlechtszellen von Tieren – zur Durchmischung des genetischen Materials bei und werden, wie der Pollen vieler Pflanzen, auch durch Insekten übertragen. Damit diese ihre Aufgabe auch

tatsächlich erfüllen, locken die Pilze sie mit einer süßen Flüssigkeit an, die von einer Reihe von Haaren, sogenannten Periphysen, an der Öffnung des Spermatogoniums abgesondert wird. Und weil sich ein großer Teil der Spermatien mit den schmackhaften Flüssigkeitstropfen vermischt, werden sie von den Insekten mitgeschleppt und gelangen so regelmäßig auf fremde, häufig genetisch andersartige Spermatogonien.

Ist es zu einer solchen gegenseitigen „Befruchtung" zwischen unterschiedlichen Rostpilzstämmen gekommen (aber auch nur dann!), kann der Lebenszyklus nun weiter ablaufen und zwar mit der Bildung becherartiger Gebilde, den Aecidien, die jetzt aber nicht auf der Blattoberseite, sondern auf deren Unterseite entstehen. In ihnen entwickeln sich anschließend zweikernige Aecidiosporen, die ihre Keimfähigkeit normalerweise drei bis sechs Wochen behalten. Diese können nun zwar keine Berberitzenblätter mehr infizieren, dafür aber andere Pflanzen, beispielsweise Gräser, darunter auch zahlreiche Getreidearten wie Hafer, Weizen oder Roggen.

Gelangt nun eine solche Aecidiospore auf eine geeignete Getreidepflanze, keimt sie dort aus, und die Keimhyphe dringt über die Spaltöffnungen des Blattes in den Wirt ein. Dabei kommt ihr das regelmäßige Wachsgitter entgegen, das auf den Blättern vieler Gräser vorhanden ist. Trifft eine Hyphe auf dieses Gitter, nutzt sie es, um sich parallel zur Blattachse auszurichten, was die Wahrscheinlichkeit, auf eine Spaltöffnung zu treffen, stark erhöht.

Einmal in die Pflanze eingedrungen, durchwuchert der Pilz innerhalb kürzester Zeit einen großen Teil des Wirtsgewebes, um schließlich an der Blatt- oder Stängeloberfläche eine weitere Sporengeneration hervorzubringen: die Sommer- oder Uredosporen. Diese richten nun den eigentlichen Schaden an, denn in einem der nur wenige Millimeter großen Sommersporenlager können innerhalb von sieben bis zwölf Tagen bis zu 400.000 Sporen

gebildet werden, die durch den Wind verbreitet werden und so immer neue Getreidepflanzen befallen, an denen sofort wieder neue Sommersporen entstehen. Dadurch wird sehr schnell ein hoher Prozentsatz der dicht stehenden Getreidehalme eines Ackers infiziert, die dann in ihrem Wachstum Zurückbleiben und daher auch nicht die gewohnten Ernteerträge liefern, sodass es – besonders in Gebieten mit großflächigen Getreidemonokulturen – nicht selten zu sehr hohen Verlusten kommt.

Gegen Ende der Vegetationsperiode entsteht schließlich auf den Getreidepflanzen die letzte Sporengeneration, die schwarzen, dickwandigen Winter- oder Teleutosporen, die dank ihrer Robustheit auf dem Ackerboden überwintern können. Dort keimen sie im nächsten Frühjahr mit Basidien aus, an denen dann wieder Sporen gebildet werden, die Berberitzen infizieren können, sodass der Kreislauf von vom beginnt.

Selbstverständlich haben Landwirte immer wieder versucht, die Ausbreitung der parasitischen Rostpilze zu verhindern. So erließ man in Frankreich, wo den Menschen der Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Berberitzen und einem gehäuften Auftreten des Getreiderostes aufgefallen war, schon im 17. Jahrhundert Gesetze zur Ausrottung der Berberitze, um den Lebenszyklus des Schwarzrostes zu unterbrechen. Ähnliche Versuche wurden in den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts auch in den USA unternommen, wobei sich allerdings zeigte, dass Maßnahmen dieser Art nur in Gegenden mit strengen Wintern zum Erfolg führen. In wärmeren Landstrichen überstehen auch die Sommersporen den Winter, sodass das Getreide im kommenden Frühjahr auch ohne Zwischenwirt und dessen Sporen infiziert wird.

Ein zusätzliches Problem bei der Bekämpfung von Rostpilzen entsteht dadurch, dass die winzigen Sporen durch Luftströmungen oft über Tausende von Kilometern verbreitet werden. Daher kann die lokale Ausrottung eines

Zwischenwirtes das Getreiderostproblem höchstens mildern und nicht wirklich beheben. Schwierig wird eine Bekämpfung aber häufig auch dadurch, dass der geschilderte Kreislauf bei einer Reihe von Rostpilzen nicht mehr vollständig ablaufen muss.

Ein sehr häufiger Schädling mit einem derart reduziertem Lebenszyklus ist der Malvenrost (*Puccinia malvacearum*), der auf der Stockrose (*Althaea rosea*) parasitiert, die in vielen mitteleuropäischen Gärten zu finden ist. Vom Malvenrost sind nur noch zwei Sporengenerationen bekannt, und es gibt auch keinen Wirtswechsel. Vielmehr keimen die Teleutosporen noch auf der Wirtspflanze mit einer Basidie aus, an der dann die Basidiosporen gebildet werden, die bei dieser Art die Funktion der Sommersporen übernehmen, sodass der Pilz innerhalb kürzester Zeit sehr viele Pflanzen befallen kann. Daher hat es, wenn der Schädling erst einmal aufgetreten ist, oft über längere Zeit keinen Sinn mehr, Stockrosen in einem Garten anzupflanzen.

Einen ähnlich reduzierten Lebenszyklus hat auch der Kaffeerost (*Hemileia vastatrix*), der bereits wenige Jahre, nachdem er 1886 in Ceylon, dem heutigen Sri Lanka, erstmals epidemieartig auftrat, den gesamten Kaffeeanbau der Insel zum Erliegen brachte, sodass die Plantagen auf Teeanbau umsteigen mussten. Nicht viel anders verhielt es sich einige Zeit später in Java, wo man sich dadurch half, dass die Plantagen auf Kautschukgewinnung umgestellt wurden.

In den folgenden Jahrzehnten machte der Kaffeerost den Anbau in insgesamt 25 Ländern unmöglich, und seit Anfang der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts treibt er verstärkt in Südamerika sein Unwesen, dem heute mit Abstand größten Kaffeeanbaugebiet der Erde. Das führte dazu, dass beispielsweise die Kaffeeproduktion in Brasilien von rund 1,5 Millionen Tonnen im Jahre 1980 auf etwa eine Million Tonnen im Jahre 1986 zurückging.

Und das ist sicher noch nicht das Ende, denn der chemischen Industrie scheint es kaum zu gelingen, ein erfolgreiches Bekämpfungsprogramm gegen Rostpilze zu entwickeln. Daher wird der Züchtung von weniger anfälligen Nutzpflanzenrassen immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Allerdings reagieren die Pilze auch darauf meistens schon nach kurzer Zeit mit der Neubildung physiologischer Rassen, von denen auch die vorher resistenten Pflanzen wieder befallen werden, sodass sich die Rostpilze wohl auch in Zukunft nicht ohne Weiteres ausrotten lassen.

Weitere pflanzenpathogene Pilze

Aber nicht nur Kartoffeln, Getreide oder Kaffee werden von Pilzen geschädigt, sondern sehr häufig auch Bäume. Als ein Beispiel unter vielen kann die Welkekrankheit der Ulmen gelten, also die Ursache des sogenannten Ulmensterbens. Verursacht wird diese Baumkrankheit durch einen zu den Ascomyceten gehörenden Pilz mit dem wissenschaftlichen Namen *Ophiostoma ulmi*, der Anfang des Jahrhunderts von Asien nach Europa eingeschleppt wurde und seither zu einem ständigen Rückgang des Ulmenvorkommens geführt hat.

Grund für die Schädigung der Bäume ist einerseits das im Holz der Ulmen wachsende Myzel des Pilzes, das die Wasserleitungsbahnen verstopft, aber auch eine Abwehrreaktion des Baumes, der versucht, durch sackartige Ausstülpungen oder durch Gummibildung dem Pilzbefall entgegenzuwirken und dabei seine eigenen Gefäße oft noch mehr zusetzt. Dadurch kommt es zunächst zum Verlust einzelner Äste, bis sich die Krankheit immer weiter ausbreitet und der Baum schließlich abstirbt.

Besonders gefährlich wird die Ulmenkrankheit dadurch, dass *Ophiostoma ulmi* fleißige Helfer hat, die für die Verbreitung des Pilzes sorgen. Gemeint ist der

Ulmensplintkäfer (*Scolytus* spp.), ein Borkenkäfer, der seine Brutgänge bevorzugt in Ulmen anlegt. Dabei kommt er naturgemäß auch immer wieder mit den Konidien des Pilzes in Berührung und verschleppen diese dann auf andere Bäume.

Schon bald, nachdem die Schädlinge sich in Europa ausgebreitet hatten, wurden sie über England auch nach Nordamerika verschleppt, wo sie ebenfalls für große Probleme sorgten. Allerdings erfolgte in den sechziger Jahren dann so etwas wie „Uncle Sam's Rache“, denn mit Holztransporten kam eine sehr viel aggressivere Variante dieses Pilzes, die sich in Nordamerika entwickelt hatte, nach England zurück, sodass das Ulmensterben dort noch drastischere Ausmaße annahm. Und weil diese Form des Parasiten sehr bald auch in andere Teile des Kontinents gelangte, ist die Ulme inzwischen in vielen Regionen Mitteleuropas fast vollständig ausgerottet. Wirklich wirkungsvolle Abwehrmaßnahmen gegen die Krankheit gibt es bisher nicht, aber man glaubt inzwischen einige Ulmenrassen gefunden zu haben, die gegenüber dieser Krankheit weniger anfällig sind. Daher kann man hoffen, dass diese Baumart bei uns nicht irgendwann völlig verschwinden wird.

Aber nicht nur Ulmen können von solchen Pilzparasiten befallen werden, sondern beispielsweise auch Eichen, bei denen *Ceratocystis fagacearum*, ein naher Verwandter des Ulmenschädlings, die sogenannte Eichenwelke verursacht. Allerdings hat diese Krankheit bisher noch nicht die Ausmaße des Ulmensterbens erreicht, was sich aber, wie man an der plötzlich aufgetretenen, aggressiveren Variante von *Ophiostoma ulmi* gesehen hat, sehr schnell ändern kann.

Pilzliche Parasiten des Menschen

Natürlich werden aber nicht nur Pflanzen von parasitischen Pilzen befallen, sondern auch Mensch und Tier. In der Regel sind pilzliche Krankheitserreger nicht so virulent wie viele Bakterien, aber einige Mykosen, wie die von Pilzen verursachten Krankheiten in ihrer Gesamtheit genannt werden, können dennoch schwere Infektionen hervorrufen. Als Beispiel kann die Kryptokokkose oder Europäische Blastomykose gelten, die von einem Pilz namens *Cryptococcus neoformans* verursacht wird. Dieser Erreger kommt normalerweise im Boden vor, lässt sich aber besonders häufig auch in Vogelexkrementen nachweisen, speziell in Taubenmist. Die Infektion mit dem Parasiten erfolgt zumeist über die Atemorgane, durch die der Pilz in die Lunge gelangt. Dort setzt er sich fest und breitet sich dann über Metastasierung oft auch auf andere Organe aus, etwa die Leber oder die Nieren. Besonders gefährlich wird eine *Cryptococcus*-Infektion, wenn der Pilz – was häufiger passiert – auf das Zentralnervensystem und das Gehirn übergreift. Die Folge ist in vielen Fällen eine Meningitis, die unbehandelt fast immer tödlich verläuft. In Deutschland sterben jährlich etwa 10.000 Menschen an der Kryptokokkose, und die Tendenz ist steigend.

Wird die Krankheit rechtzeitig erkannt und richtig behandelt, liegt die Heilungschance immerhin bei 60 Prozent, aber leider sind die Symptome des Erregers nicht immer leicht zu diagnostizieren. Einer der Gründe ist, dass *Cryptococcus neoformans* – vermutlich aufgrund einer speziellen äußeren Schicht, von der der Erreger umgeben ist – häufig keine akuten Entzündungen hervorruft. Daher kann die körpereigene Abwehr die Eindringlinge auch nicht immer erkennen und so nichts zu ihrer Bekämpfung unternehmen. Und weil damit natürlich auch die äußeren Anzeichen einer Infektion fehlen, etwa eine erhöhte Körpertemperatur, kann sich der Pilz häufig unbemerkt im Körper ausbreiten und so schwere Schädigungen hervorrufen.

Als besonders gefährdet gegenüber Pilzinfektionen gelten bereits erkrankte Menschen, denn alle pathogenen Pilze befallen bevorzugt geschwächte Organismen. Daher lassen sich parasitische Pilze auch häufig bei Patienten beobachten, die an einer Immunschwäche wie AIDS oder Leukämie erkrankt sind. Bedroht sind aber auch Personen, die sich einer Zytostatika- und Kortikosteroidtherapie oder häufiger Röntgenbestrahlung unterziehen müssen. Diese Behandlungsmethoden erleichtern es vielen pilzlichen Erregern, in menschliches Gewebe einzudringen. Ähnliches gilt für längerfristige Antibiotikatherapien, da in einem solchen Fall die natürliche Bakterienflora der Schleimhäute geschädigt wird, was wiederum einen verstärkten Pilzbefall fördert.

Aber auch werdende Mütter sind häufig besonders anfällig gegenüber Pilzinfektionen, weil es während einer Schwangerschaft durch hormonelle Veränderungen im weiblichen Genitaltrakt zu einer Modifikation der normalen Milchsäurebakterienflora kommen kann, was nicht selten der Verbreitung von Pilzen Vorschub leistet.

Ganz ähnlich verhält es sich mit künstlichen Hormonen, etwa solchen, die mit der Antibabypille aufgenommen werden. Sie können ebenfalls die natürliche Bakterienflora zerstören und so Wachstumsmöglichkeiten für pilzliche Keime schaffen.

Besonders die Schleimhäute des Mundes, der Verdauungsorgane und der Genitalien werden dabei häufig von Sprosspilzen befallen, von denen der Soorpilz (*Candida albicans*), der Verursacher der Candidamykosen, sicher der bekannteste ist. Er ist sehr gut an den Warmblüterorganismus angepasst, sodass er auch noch problemlos bei Temperaturen von 37 °C wächst. Und hat sich der Erreger erst einmal erfolgreich eingenistet, dringt er häufig weiter in den Körper ein und schädigt dann nicht selten innere Organe, etwa das Zentralnervensystem. Besonders gefährdet sind auch hier Menschen, deren

körpereigene Abwehr bereits geschwächt ist. Aber auch am menschlichen Auge kann der Soorpilz gefährliche Entzündungen hervorrufen, während es bei Menschen, die einen „Feuchtberuf“ ausüben, leicht zu einem Befall der Nägel oder der Haut kommt. Gefährdet sind außerdem Säuglinge, denn bei ihnen arbeitet das Immunsystem noch nicht optimal, sodass sie sich schon bei der Geburt leicht mit einer Candidamykose infizieren können. Die Folge sind Ausschläge, beispielsweise im Bereich des Mundes oder in Form des berüchtigten Windelausschlags.

Die Zahl der *Candida-Infektionen* hat sich in den vergangenen Jahrzehnten in vielen Industrienationen fast verdreifacht. Ein Grund dafür ist vermutlich die verstärkte Anwendung von Antibiotika, denn sobald die bakterielle Konkurrenz durch Medikamente beseitigt wird, haben Pilze einen Wachstumsvorteil. Eine weitere Ursache ist aber wohl auch der zunehmende Gebrauch der Antibabypille, durch die der Hormonhaushalt verändert wird (siehe oben). Daher sind Frauen auch besonders häufig von solchen Infekten betroffen: Fast 70 Prozent erkranken während ihres Lebens an einer Pilzinfektion im Genitalbereich, und nicht selten gehört der Soorpilz zu den Erregern.

Eine weitere Gruppe häufig auftretender Krankheitserreger sind die sogenannten Dermatophyten, die in erster Linie Haut, Haare und Nägel befallen. In Mitteleuropa leiden etwa 40 Prozent der männlichen und 30 Prozent der weiblichen Bevölkerung unter Dermatophytosen im Fußbereich, also im weitesten Sinne an Fußpilz, einer Mykose, die unter anderem durch *Trichophyton rubrum, Trichophyton mentagrophytes* und *Epidermophyton floccosum* verursacht wird. Die Infektion mit den leicht übertragbaren Pilzen erfolgt häufig in Schwimmbädern oder Duschräumen, wobei diese Arten zumeist im wahrsten Sinne des Wortes an feuchteren Stellen Fuß fassen, etwa zwischen den Zehen.

Andere Dermatophyten befallen dagegen auch trockenere Substrate, etwa Nägel oder Haare, deren Struktur durch die keratinolytischen Aktivitäten der Erreger stark in Mitleidenschaft gezogen werden kann. In vielen Fällen scheint die Übertragung von Hautpilzen auf den Menschen auch durch Tiere zu erfolgen, etwa Hunde oder Katzen und manchmal sogar Igel. Leider sind die meisten Dermatophyten unempfindlich gegen Seife oder andere Körperpflegemittel, sodass häufig eine mehrwöchige Fungizidbehandlung notwendig ist.

Zum Abschluss dieses Kapitels soll noch einmal ausdrücklich betont werden, dass man Pilzinfektionen, auch wenn sie häufig keinen so dramatischen Krankheitsverlauf hervorrufen, wie viele bakterielle Erreger, auf keinen Fall auf die leichte Schulter nehmen sollte. Lässt sich äußerlicher Befall von Nägeln oder Haut noch relativ leicht mit geeigneten Fungiziden behandeln, so sind Bekämpfungsmaßnahmen gegen Pilze, die bereits in den Körper eingedrungen sind, oft sehr schwierig, weil pilzliche Erreger, bei denen es sich ja um Eukaryoten handelt, nicht so einfach mit Antibiotika behandeln lassen wie viele Bakterien (siehe Kapitel 9). Daher kann an dieser Stelle nur ausdrücklich empfohlen werden, selbst bei unbedeutend erscheinenden Pilzinfektionen den Arzt aufzusuchen.

Zufälligkeiten

„Das ist ja seltsam“, soll Alexander Fleming gesagt haben, als er eine eher zufällige Entdeckung machte, die heute zu den bedeutendsten der gesamten Medizingeschichte gehört. Man schrieb das Jahr 1928, und Fleming arbeitete als Bakteriologe am Saint Mary's Hospital in London. Geboren war Alec, wie er allgemein genannt wurde, 47 Jahre zuvor, am 6. August 1881, im Hochland von Ayshire im Südwesten Schottlands. Dort wuchs er in einer großen Familie in einfachen Verhältnissen auf. Sein Vater war Farmer, aus dessen erster Ehe vier Kinder hervorgegangen waren, bevor er nach dem Tod seiner Frau im Alter von sechzig Jahren noch einmal heiratete. Dieser Ehe entstammten vier weitere Kinder, von denen Alec das zweitjüngste war.

Als der Vater sieben Jahre später starb, versuchten die Mutter und der älteste Bruder die Familie so gut es ging durchzubringen.

> „Ich denke, ich hatte das Glück, als Mitglied einer großen Familie auf einer abgelegenen Farm aufzuwachsen. Wir hatten kein Geld, und es gab auch nichts, wofür man es hätte ausgeben können. Wir mussten uns selbst vergnügen, aber das ist in einer solchen Umgebung nicht schwer. Wir hatten die Tiere der Farm und die Forellen in den Bächen. Unbewusst lernten wir viel über die Natur, wonach sich ein Stadtmensch sehr sehnt.“ (Birch 1993)

Auch seine ersten Schuljahre verbrachte Alec im schottischen Hochland, bevor er zu einem seiner älteren Brüder nach London zog, um dort seine Schulausbildung zu beenden. Als 16jähriger nahm er dann eine Stelle bei einer

Londoner Schifffahrtslinie an, wo seine Tage hauptsächlich mit dem führen von Rechnungsbüchern und Passagierlisten verbrachte. Zwar stellte er schnell fest, dass ihn diese Arbeit nicht sehr ausfüllte, sah aber zunächst keine Möglichkeit, seine Situation zu verändern.

Doch dann schlug im Jahre 1901 der Zufall erstmals zu, denn ein verstorbener Onkel hinterließ jedem der Flemingkinder eine kleine Erbschaft. Der junge Alexander beschloss, das Geld für ein Medizinstudium zu nutzen. Allerdings besaß er dazu nicht die notwendigen schulischen Voraussetzungen, sodass er einen Privatlehrer engagieren musste, der ihm das Wissen für die verlangten Prüfungen vermittelte. Diese Maßnahme war von Erfolg gekrönt, und so konnte Fleming schon bald darauf sein Studium beginnen und 1906 sein medizinisches Examen am Saint Mary's Hospital ablegen. Er war jetzt 24 Jahre alt und spielte mit dem Gedanken, das Hospital zu verlassen, um an anderer Stelle seine chirurgische Ausbildung zu vervollkommnen. Aber dann griff der Zufall erneut ein.

Alec war während seines Studiums dem Schießklub des Hospitals beigetreten und hatte sich als ausgezeichneter Schütze erwiesen. Nicht zuletzt deswegen wurden der Mannschaft in jenem Jahr sogar gute Chancen eingeräumt, einen landesweiten Wettbewerb zu gewinnen. Aber dazu brauchte man Fleming. Daher bemühte sich einer der Sportkameraden, ihm eine Assistentenstelle am Krankenhaus zu verschaffen, um so den Weggang des guten Sportschützen zu verzögern. Das Vorhaben gelang, sodass der junge Mediziner schon kurze Zeit später in der bakteriologischen Abteilung des Saint Mary's Hospitals arbeitete. Und aus dieser, als Übergangslösung gedachten Beschäftigung, erwuchs im Laufe der Zeit eine lebenslange Leidenschaft.

Die Bakteriologie steckte damals noch in den Kinderschuhen, hatte aber bereits sehr hochgesteckte Ziele. Dazu gehörte vor allem die Suche nach einem wirksamen

Gegenmittel gegen die großen, von Bakterien verursachten Seuchen, von denen die Menschheit immer wieder heimgesucht wurde. In erster Linie ist hier die Pest zu nennen, die im 14. Jahrhundert rund ein Drittel der Gesamtbevölkerung Europas dahingerafft hatte und noch Ende des 19. Jahrhunderts in Indien fast sechs Millionen Todesopfer forderte. Aber neben dem „Schwarzen Tod" verlangten auch Cholera, Typhus, Ruhr, Syphilis, Fleckfieber, Lepra und Tuberkulose im Laufe der Jahrhunderte immer wieder ihren tödlichen Tribut.

Es waren jedoch nicht nur die verheerenden Seuchen, die Angst und Schrecken unter den Menschen verbreiteten, sondern es gelang mit den damaligen Mitteln zumeist nicht einmal, selbst einfache bakterielle Infektionen erfolgreich zu bekämpfen. So starben Frauen im Kindbett, Kleinkinder an Scharlach, und selbst eine kleine Schnittwunde konnte zu einer Blutvergiftung und damit zum Tode führen. Hatten die Bakterien erst einmal Einlass in den menschlichen Körper gefunden, begannen sie sehr bald mit ihrem zerstörerischen Werk, sodass den Ärzten häufig nichts anderes übrig blieb, als tatenlos zuzusehen.

Diese Erfahrung machte auch Fleming, als er im Ersten Weltkrieg in einem Lazarett in Frankreich eingesetzt wurde. Wegen der zahllosen Verwundeten, die nahezu ununterbrochen eingeliefert wurden, war es den Ärzten oft nicht möglich, sich sofort um die Soldaten zu kümmern, sodass sich viele Wunden bereits entzündet hatten, wenn die Männer endlich auf den Behandlungstisch kamen. Besonders gefürchtet war dabei der Gasbrand, eine schwere Entzündung, die durch überall im Erdboden vorkommende Bakterien der Gattung *Clostridium* hervorgerufen wird und der häufig nur durch Amputation der befallenen Gliedmaßen Einhalt geboten werden konnte. Geschah das nicht, bedeutete die Infektion den sicheren Tod des Verwundeten. „Bald wurde deutlich, dass die Bakterien für den Feind arbeiteten. Hunderte Verwundete starben in den Lazaretten

an Infektionen. Gasbrand und Wundstarrkrampf waren wohl für ein Zehntel aller Todesfälle verantwortlich“, schrieb W. Howard Hughes, ein Kollege Flemings. (Birch 1993)

Die Kriegsjahre hinterließen bei dem jungen schottischen Arzt einen unauslöschlichen Eindruck. Inzwischen sprach er kaum noch davon, Chirurg zu werden. Seine ganze Arbeitskraft galt jetzt der Suche nach Substanzen, mit denen man bakterielle Krankheitserreger abtöten konnte. Natürlich war Fleming nicht der erste Wissenschaftler, der sich dieser Herausforderung stellte, aber bisher waren die Ergebnisse nicht sehr ermutigend gewesen. Zwar kannte man Stoffe wie das Phenol (damals noch Karbolsäure genannt), das im Reagenzglas alle möglichen Bakterien abtötete und mit dem man beispielsweise auch medizinische Instrumente keimfrei machen konnte. Aber sobald es darum ging, eine bereits entzündete Wunde zu desinfizieren, führte der Einsatz dieser Substanz nicht zum Erfolg.

Warum das so war, wusste zu diesem Zeitpunkt noch niemand. Erst als man am Saint Mary's Hospital begann, der Sache auf den Grund zu gehen, fand man heraus, dass das Phenol nicht nur die Krankheitserreger abtötete, sondern gleichzeitig auch das Immunsystem der Patienten schädigte. Die weißen Blutkörperchen (Leukozyten), die im Blut eine Art Überwachungsfunktion wahrnehmen und daher bei einer Entzündung vom menschlichen Körper vermehrt gebildet werden, um die eingedrungenen Bakterien zu bekämpfen, wurden vom Phenol ebenfalls geschädigt. Und ohne die Hilfe des körpereigenen Immunsystems ließ sich eine ernsthafte Infektion nicht erfolgreich behandeln. Was man brauchte, war ein Stoff, der in der Lage war, Bakterien abzutöten, ohne dabei das menschliche Immunsystem anzugreifen. Und Fleming fand diese Substanz, wobei ihm wiederum eine Reihe von Zufällen zugutekamen.

Die Entdeckung des Penizillins

Um zu verstehen, was sich diesbezüglich im Jahre 1928 ereignete, muss man einen kurzen Abstecher in die Arbeitsweise der Bakteriologen machen. Wissenschaftler, die sich mit der Erforschung der winzigen Organismen beschäftigen, versuchen in der Regel, ihre Untersuchungsobjekte unter künstlichen, also genau kontrollierbaren Bedingungen im Labor wachsen zu lassen, denn nur wenn es gelingt, die Bakterien in Reinkultur zu züchten, man also sicher sein kann, dass nur eine einzige Bakterienart untersucht wird, ist es möglich, eine exakte wissenschaftliche Aussage zu machen.

Normalerweise züchtet man solche Bakterienkulturen in kleinen, mit Deckeln versehenen Glasgefäßen, die man Petrischalen nennt. Diese müssen vor Gebrauch sorgfältig sterilisiert werden, damit Fremdkeime, die sich normalerweise an allen Gegenständen befinden, abgetötet werden. Gleiches gilt für die künstlichen Nährmedien, die man anschließend in die Schalen füllt und dann mit Bakterien beimpft. Auf einem solchen synthetischen Nährboden, der optimal an die Bedürfnisse der jeweiligen Bakterienart angepasst ist, wachsen die Mikroorganismen zumeist recht schnell, sodass die Schale nach einiger Zeit von einem dichten Bakterienrasen bedeckt ist, der nun untersucht werden kann.

Genau das hatte Fleming vor, als er Anfang August 1928 eine Reihe von Petrischalen mit Staphylokokken beimpfte. Dabei handelte es sich um Bakterien, die aus Furunkeln, Abszessen und anderen Infektionsherden isoliert worden waren, und die während eines bevorstehenden Urlaubs des Wissenschaftlers heranwachsen sollten. In seinen Ferien wird sich Fleming dann vermutlich über das kurz darauf einsetzende schlechte Wetter geärgert haben, denn während noch im Juli in ganz England hochsommerlichen

Temperaturen geherrscht hatten, fiel das Thermometer plötzlich für etwa zehn Tage auf Werte unter 20 °C. Und auch diese ungewöhnlichen Wetterkapriolen spielten eine wichtige Rolle für die Entdeckung des Penizillins.

Als Fleming im September an seinen Arbeitsplatz zurückkehrte, musste er feststellen, dass in vielen seiner Schälchen neben den gewünschten Bakterien auch noch andere Organismen wuchsen, vor allem Schimmelpilze. Nun waren derartige Verunreinigungen im Grunde nichts Besonderes, denn selbst bei größter Sorgfalt konnte man unter den damaligen Arbeitsbedingungen kaum verhindern, dass auf einem Teil der Petrischalen neben den gewünschten Bakterien auch immer andere Organismen wuchsen. Aber in diesem Fall hatte der plötzliche Wetterumschwung zusätzlich noch seinen Teil zur Verunreinigung beigetragen, denn bei wärmerem Wetter hätten sich die Bakterien, die als Krankheitserreger an die relativ hohen menschlichen Körpertemperaturen angepasst sind, so schnell auf dem Nährboden ausgebreitet, dass beispielsweise Schimmelpilze, die niedrigere Temperaturen bevorzugen, kaum eine Chance gehabt hätten zu wachsen.

Fleming sortierte die verunreinigten Petrischalen aus, und stellte sie in eine Wanne mit einer Desinfektionslösung, um sie auf diese Weise zu vernichten. Da es dieses Mal jedoch ungewöhnlich viele unbrauchbar gewordene Kulturen waren, erreichte die Desinfektionslösung die oberste Schicht der ausgesonderten Glasgefäße nicht. Dadurch blieb zufällig auch jenes Schälchen verschont, dem später Millionen und Abermillionen Menschen in aller Welt ihr Leben verdanken sollten. Und als kurz darauf ein Kollege vorbeikam, dem Fleming etwas über seine Versuche mit den Staphylokokken berichten wollte, griff er wahllos eine Schale aus der oberen Schicht heraus und erwischte dabei – inzwischen nicht mehr schwer zu erraten – zufällig genau jenes Kulturschälchen, das ihn zu seinem berühmten: „Das ist ja seltsam“, veranlasste.

Aber was hatte Fleming eigentlich so Seltsames gesehen? Einem ungeübten Beobachter wäre an dieser Kultur vermutlich nicht viel mehr aufgefallen, als dass auf dem Nährboden neben Staphylokokken auch noch ein Schimmelpilz wuchs. Aber dadurch unterschied sich das Schälchen noch nicht von den meisten der anderen verunreinigten Kulturen. Seltsam war in diesem Fall allerdings, dass sich um den Pilz herum eine schmale Zone gebildet hatte, auf dem keine Bakterien wuchsen. Und dafür musste es einen Grund geben, denn normalerweise entbrennt auf einem Nährboden, auf dem verschiedene Mikroorganismen wachsen, ein heißer Kampf um jeden Millimeter des begehrten Substrates. Freiwillig hätten die Staphylokokken also kaum auf dieses unbesiedelte Territorium verzichtet. Irgendetwas musste ihre weitere Ausbreitung gehemmt haben, und da die keimfreie Zone direkt um den Schimmelpilz herum entstanden war, lag die Vermutung nahe, dass dieser etwas ausschied, was die Staphylokokken am Wachstum hinderte. Möglicherweise war das der Stoff, nach dem die Wissenschaft seit Jahren suchte.

Diese Annahme erwies sich als richtig. Wie sich später herausstellte, war die Substanz, die Fleming, weil der Schimmelpilz zur Gattung *Penicillium* gehörte, „Penizillin“ nannte, tatsächlich in der Lage, das Wachstum einer Vielzahl von Bakterien zu unterbinden, darunter auch das zahlreicher Krankheitserreger. Noch wichtiger war allerdings, dass Penizillin – im Gegensatz zum Phenol – das körpereigene Immunsystem nicht schädigte. Daher konnte man es nicht nur äußerlich anwenden, sondern auch zur Bekämpfung von Bakterien einsetzen, die sich bereits im Körper ausgebreitet hatten.

Nach vielen Jahren intensiver Forschung, an der zahlreiche weitere Wissenschaftler beteiligt waren, fand am 25. Mai 1940, also mitten im Zweiten Weltkrieg, in Oxford ein Tierversuch statt, der dies in überzeugender Weise belegte: Acht Mäusen wurde eine tödliche Dosis

krankheitserregender Bakterien verabreicht; vier von ihnen erhielten außerdem einige Zeit später eine Penizillinspritze. Dieses Quartett lebte am nächsten Morgen noch, während die unbehandelten vier Nager tot in ihrem Käfig lagen.

Weniger als ein Jahr später, wurde dann bereits der erste Mensch mit Penizillin behandelt. Es war der Polizist Albert Alexander, der sich das Gesicht an einem Rosenstrauß aufgekratzt und dabei eine starke Infektion zugezogen hatte. Nach der Behandlung besserte sich sein Zustand zunächst deutlich, aber leider stand zu diesem Zeitpunkt noch nicht genug Penizillin zur Verfügung, sodass man dem Patienten nicht die notwendige zweite Dosis verabreichen konnte. Der Polizist starb einige Wochen später. Mehr Erfolg hatte man dann aber mit dem nächsten Patienten, einem 15jährigen Jungen, bei dem nach einer Hüftoperation eine schwere Infektion aufgetreten war, sodass er bereits im Sterben lag. Nach einer Behandlung mit mehreren Penizillinspritzen wurde er vollständig gesund.

Das war der endgültige Durchbruch. Schon bald darauf brachte man das Medikament auch bei den am Zweiten Weltkrieg beteiligten englischen und amerikanischen Truppen zum Einsatz, und es gibt nicht wenige Stimmen, die behaupten, das neue Medikament hätte einen ungeheuer wichtigen Beitrag zum Gewinn des Krieges durch die Alliierten geleistet.

Fleming wurde wegen seiner bahnbrechenden Entdeckung im Juli 1944 geadelt – durfte sich nun also Sir Alexander Fleming nennen. Im Jahr darauf wurde seine Arbeit außerdem mit dem Nobelpreis ausgezeichnet, den er zusammen mit Howard Florey und Ernst Chain erhielt, zwei Oxforder Wissenschaftlern, denen es gelungen war, das Penizillin bis zur Anwendungsreife weiterzuentwickeln. Zehn Jahre lang durfte Fleming den atemberaubenden Erfolg seiner Entdeckung noch mitverfolgen, aber dann starb er am 11. März 1955 im Alter von 74 Jahren plötzlich und unerwartet an einem Herzinfarkt.

Der Siegeszug des Penizillins

Aus der modernen Medizin ist das Penizillin inzwischen nicht mehr wegzudenken. Heute werden weltweit jährlich etwa 45.000 Tonnen produziert – eine unglaubliche Menge, wenn man bedenkt, dass die Anwendungsdosis im Milligrammbereich liegt. Und inzwischen weiß man auch, warum Penizillin ein so ausgezeichnetes Mittel zur Bakterienbekämpfung ist. Die Erklärung ist recht einfach: Die Zellwand der Bakterien besteht aus dem sogenannten Mureinsacculus, einem sackförmigen Riesenmolekül, das dem Chitinpanzer der Insekten nicht unähnlich ist. Da bei einer sich vermehrenden Bakterienkultur – und nichts anderes ist eine Entzündung – durch einfache Zweiteilung immer neue Zellen entstehen, wird naturgemäß sehr viel Zellwandmaterial benötigt, denn die neu gebildeten Organismen müssen ja alle mit einer eigenen äußeren Hülle umgeben werden. Und genau an dieser Stelle kommt nun das Penizillin ins Spiel, denn weil das Antibiotikum und bestimmte Bausteine des Mureinsacculus eine sehr ähnliche Struktur haben, kann ein sehr wichtiges Bakterienenzym, die Transpeptidase, die maßgeblich am Aufbau der Bakterienzellwand beteiligt ist, nicht zwischen beiden unterscheiden. Daher erwischt sie bei ihren Syntheseversuchen auch immer wieder eines der zahlreichen Penizillinmoleküle, die durch die Antibiotikabehandlung im Übermaß vorhanden sind. Diese versucht sie dann in den Mureinsacculus einzubauen, wobei sie allerdings herausstellt, dass dies nicht funktioniert, weil es zwischen beiden Molekülen zwar nur geringe, aber dennoch entscheidende Unterschiede gibt. Könnte die Transpeptidase nun – angewidert durch den gemeinen Betrug – den falschen Baustein fallen lassen und sich auf die Suche nach einem richtigen Molekül machen, wäre die ganze Sache für die Bakterien im Grunde kein Beinbruch.

Aber genau das ist nicht möglich, denn die Bindung des Penizillins an die Transpeptidase ist irreversibel. Das Penizillinmolekül lässt sich also nicht wieder abschütteln und macht das Enzym dadurch unwirksam. Als Folge davon kann das Zellwandmaterial nicht in ausreichender Menge synthetisiert werden, und die Vermehrung der Bakterien wird unterbunden.

Dies ist aber noch nicht alles, sondern ein weiterer großer Vorteil der Penizillinbehandlung liegt in der sehr spezifischen Wirkung dieses Antibiotikums, denn es werden ausschließlich die Enzyme der bakteriellen Krankheitserreger außer Funktion gesetzt. Die menschlichen Zellen, die nicht von einem Mureinsacculus umgeben sind und somit auch keine Transpeptidase besitzen, bleiben dagegen praktisch unbehelligt. Daher gibt es – etwa im Gegensatz zum Phenol – bei einer normalen Dosierung, die einem ansonsten gesunden Menschen verabreicht wird, auch nur geringe Nebenwirkungen. Größere Probleme treten eigentlich nur auf, wenn das Antibiotikum über einen sehr langen Zeitraum verabreicht werden muss, oder wenn Menschen auf Penizillin allergisch reagieren.

Antibiotikaresistente Bakterien

Bei einem derart wirkungsvollen Arzneimittel hätten nun eigentlich die meisten der bakteriellen Krankheitserreger innerhalb kürzester Zeit zur Bedeutungslosigkeit verdammt sein müssen, und optimistische Zeitgenossen sagten auch schon vor längerer Zeit den endgültigen Sieg über die durch Bakterien verursachten Seuchen der Menschheit voraus. Leider kam es aber anders, denn die Bakterien schlugen zurück. Möglich war ihnen das, weil in der Natur mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit ständig zufällige Veränderungen des Erbgutes, sogenannte Mutationen, auftreten. Solche Genmodifikationen haben beispielsweise bei weißen Mäusen dazu geführt, dass bestimmte

Farbpigmente nicht mehr produziert werden können. Daher sind die mutierten kleinen Nager nicht mehr grau und dunkeläugig wie ihre normalen Artgenossen, sondern sie besitzen ein weißes Fell und rote Augen.

In der freien Natur haben weiße Mäuse nur sehr geringe Überlebenschancen, weil sie wegen ihres auffälligen Äußeren schnell zur Beute eines Greifvogels oder eines anderen Räubers werden. Aber es gibt natürlich auch Mutationen, die dem betroffenen Organismus einen Vorteil verschaffen. So kann bei krankheitserregenden Bakterien beispielsweise eine Mutation der Transpeptidase dazu führen, dass diese sich plötzlich nicht mehr von der Strukturanalogie der Penizillinmoleküle „aufs Glatteis führen" lässt, sondern nur noch die richtigen Mureinbausteine verwendet, aus denen sich dann auch tatsächlich die benötigte Zellwand synthetisieren lässt. Die Folge ist, dass diese Krankheitserreger nun plötzlich alle vorhandenen Ressourcen fast ganz für sich allein haben, denn die nicht mutierten Artgenossen werden ja weiterhin durch das Antibiotikum am Wachstum gehindert. Dadurch können sich die penizillinresistenten, also durch Penizillin unangreifbaren Krankheitserreger, natürlich sehr schnell vermehren, und im Grunde wäre damit alles wie vor Flemings wichtiger Entdeckung: Die Ärzte müssten erneut tatenlos Zusehen, wie ihnen die Patienten unter den Händen wegsterben.

Glücklicherweise hat die medizinische Forschung aber auch hier einen Ausweg gefunden. Bestärkt durch die Erfolge mit dem Penizillin, machten sich Heerscharen von Wissenschaftlern auf die Suche nach Substanzen, mit denen sich auch die penizillinresistent gewordenen Bakterien bekämpfen ließen. Und sie wurden fündig, entdeckten also Wirkstoffe, mit denen auch solche Krankheitserreger behandeln lassen, denen Penizillin nichts mehr anhaben kann. Zurückzuführen ist dies darauf, dass die neuen Antibiotika nicht mehr in die Zellwandsynthese eingreifen,

sondern andere Bereiche des bakteriellen Stoffwechsels beeinflussen. Und damit nützt den resistenten Krankheitserregern auch die „zu ihren Gunsten“ veränderte Transpeptidase nichts mehr.

Die Wirkungsmechanismen der neu entdeckten Substanzen sind recht unterschiedlich. So setzen sie sich beispielsweise an die Ribosomen, also an jene winzigen intrazellulären Partikel, an denen die Proteinbiosynthese stattfindet, und beeinträchtigen dadurch diesen, für alle Zellen überlebenswichtigen Vorgang so sehr, dass die Keime zugrunde gehen. Die menschliche Zelle, die natürlich auch Ribosomen besitzt, wird dagegen nicht geschädigt, weil es strukturelle Unterschiede zwischen den Ribosomen der Bakterien und höher entwickelter Organismen gibt, sodass man dieses Antibiotikum ziemlich gefahrlos therapeutisch anwenden kann. Außerdem gibt es Substanzen, die die Nukleinsäuresynthese hemmen, also beispielsweise verhindern, dass die DNA verdoppelt wird oder dass die genetische Information mithilfe der RNA zu den Ribosomen gelangt. Andere beeinträchtigen die Funktion der Atmungskette in der Zelle und verringern dadurch eine optimale Energiegewinnung; außerdem gibt es Stoffe, die die lebenswichtige Bakterienmembran schädigen oder eine hemmende Wirkung auf den Eisentransport in den Krankheitserregern haben.

Durch die Vielzahl der unterschiedlich wirkenden Antibiotika sollte die Medizin inzwischen eigentlich gut genug gerüstet sein, um allen Angriffen bakterieller Krankheitskeime gelassen entgegen zu sehen. Doch leider ist das nicht der Fall, denn kaum wird ein neues Mittel eingesetzt, tauchen auch schon wieder veränderte Bakterien auf, die auf den neuen Wirkstoff nicht mehr ansprechen. Dies kann beispielsweise daran liegen, dass die Zellwand der Krankheitserreger durch Mutationen für antibakterielle Substanzen undurchlässig wird oder dass die eingedrungenen Wirkstoffe einfach wieder ausgeschleust

werden. Manche Stämme besitzen außerdem Enzyme, mit denen sie das eingesetzte Antibiotikum zerstören, bevor es aktiv werden kann, oder sie wandeln es bis zur Wirkungslosigkeit ab.

Inzwischen erinnert die Suche nach immer neuen antibakteriellen Wirkstoffen und die entsprechende Gegenwehr der Bakterien an das Wettrennen zwischen Hase und Igel. Konnte man anfangs noch glauben, der Mensch müsse mit seinem inzwischen beachtlichen Wissen über einzelne Krankheitserreger und dem gewaltigen Aufwand, der mittlerweile bei ihrer Bekämpfung betrieben wird, in der Lage sein, den Bakterien mit Leichtigkeit Paroli zu bieten, gibt es inzwischen immer mehr Experten, die davor warnen, die Anpassungsfähigkeit der Bakterien zu unterschätzen. Und die Zahlen, die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) beispielsweise zu den aktuellen Tuberkuloseerkrankungen veröffentlicht werden, geben tatsächlich Anlass zur Besorgnis: Insgesamt ist heute etwa ein Drittel der Weltbevölkerung mit Tuberkelbazillen infiziert, und drei Millionen Menschen sterben sogar jedes Jahr an dieser Krankheit. Ein besonders starker Anstieg der Tuberkulosefälle ist seit Ende der 80er Jahre in Osteuropa festzustellen, wo es in einem Zeitraum von fünf Jahren etwa 29.000 Todesfälle zu beklagen gab. Aber auch in Mitteleuropa breitet sich diese Krankheit inzwischen wieder stärker aus. So starben 1990 in der Bundesrepublik Deutschland mehr Menschen an der Schwindsucht als an der Immunschwäche AIDS, und in Italien und der Schweiz registrierte man eine Zunahme der Neuerkrankungen um 28 beziehungsweise 33 Prozent.

Zu einem gewissen Teil ist der verstärkte Vormarsch der Tuberkulose auf resistent gewordene Bakterienstämme zurückzuführen, aber das ist leider ist das noch nicht alles. Vielmehr verfügen die Bakterien unglücklicherweise noch über eine weitere sehr raffinierte Möglichkeit, sich erfolgreich auszubreiten. Gemeint ist die Übertragung

genetischen Materials, die es nicht nur bei höher entwickelten Lebewesen, sondern auch bei Mikroorganismen gibt. Normalerweise geschieht das bei der Konjugation, einer Art bakterieller Paarung, während der Teile des Genoms ausgetauscht werden können, darunter natürlich auch Resistenzgene. Früher glaubte man, eine solche Konjugation fände nur zwischen Bakterien der gleichen Art statt, aber inzwischen musste man feststellen, dass dies ein Wunschdenken war. Tatsächlich können selbst Gramnegative und Grampositive Bakterien, also Organismen, die nur sehr weitläufig miteinander verwandt sind, genetisches Material austauschen, sodass es nicht unvorstellbar ist, dass ein Tuberkelbakterium eine gegen Penizillin erworbene Resistenz auf einen Pesterreger überträgt. Und geschieht dies in einer Klinik, wo es, trotz aller Bemühungen um möglichst sterile Bedingungen, naturgemäß besonders viele Krankheitskeime gibt, kann sich ein solches Bakterium vielleicht sogar weitere Resistenzen erwerben, sodass – zumindest in der Theorie – außerordentlich gefährliche Erreger vorstellbar sind, gegen die auch unsere Antibiotika nichts mehr ausrichten können.

Daher wird es in Zukunft wohl darauf ankommen, im Wettlauf gegen die Bakterien die Nase immer ein wenig vorn zu haben. Und vielleicht wird der Zufall ja irgendwann sogar wieder einmal dafür sorgen, dass man auf einen Pilz oder einen anderen Organismus stößt, der eine Substanz produziert, die helfen kann, auch Krankheiten wie Krebs oder AIDS ihren Schrecken zu nehmen.

Die kulinarische Bereicherung

Die Produktion von Antibiotika ist zweifellos eine der wertvollsten Dinge, die wir den Pilzen verdanken – eine Feststellung, der sicher auch die Wein- und Bierliebhaber, die jetzt zu ihrem Recht kommen sollen, uneingeschränkt zustimmen werden. Daneben gibt es aber noch eine Vielzahl weiterer, durch Pilze produzierter Substanzen, ohne die unser Leben heute nur schwer vorstellbar wäre.

Wo Bachus das Feuer schürt

Dazu gehört auch die Weinherstellung, die die Menschen schon seit Urzeiten beherrschen. So hat man Weinamphoren im Zweistromland gefunden, die etwa 6000 Jahre alt sind, und bald darauf muss dieses Wissen auch seinen Weg nach Ägypten gefunden haben, denn aus diesem Kulturkreis sind sogar bildliche Darstellungen von der Weinlese und Weiterverarbeitung der Trauben erhalten geblieben. Aber auch die Bibel berichtet bereits im Alten Testament von der Herstellung und den möglichen Auswirkungen dieses alkoholischen Getränks. So heißt es im 1. Buch Moses 9, 20–21: „Noah aber fing an und ward ein Ackermann und pflanzte Weinberge. Und da er von dem Wein trank, ward er trunken und lag in der Hütte aufgedeckt.“ Und Noah kann nicht der einzige gewesen sein, der diesem Getränk seinerzeit kräftig zugesprochen hat, denn in der Nähe von Jerusalem hat man einen in den Fels geschlagenen Weinkeller gefunden, der auf etwa 500 bis 600 vor Christus zurückdatiert werden konnte und ein geschätztes Fassungsvermögen von über 2000 Hektolitern besaß.

Im antiken Rom konnten der Weinanbau und die Verarbeitung der Trauben dann durch den Einsatz von Sklaven in noch größerem Maßstab betrieben werden. Trinken durften den Rebensaft allerdings nur die Männer, während Frauen der Genuss unter Androhung der Todesstrafe verboten war. Und ganz augenscheinlich wurde diese frühe Prohibition auch genau überprüft, denn es heißt, viele altgediente Ehemänner hätten ihre Frauen nur noch geküsst, um festzustellen, ob sie nicht heimlich Wein getrunken hatten.

Es waren aber nicht nur die begüterten Bevölkerungsschichten des Römischen Reiches, die in den Genuss des begehrten Rebensaftes kamen, sondern der Wein gehörte auch zur normalen Verpflegungsration der Legionäre, sodass sich der Rebenanbau durch die zahlreichen römischen Feldzüge sehr bald in weite Teile Europas verbreitete. Die Versorgung der Soldaten mit alkoholischen Getränken erfolgte allerdings weniger aus Menschenfreundlichkeit, sondern diente in erster Linie der Gesunderhaltung der Legionäre, da Wein und Bier praktisch die einzigen keimarmen Getränke waren, die damals zur Verfügung standen.

Natürlich wusste man zu dieser Zeit noch nicht, warum aus einfachem Traubensaft ohne weiteres menschliches Zutun plötzlich ein berauschendes Getränk wurde. Erst im 18. Jahrhundert konnte der französische Chemiker Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794) nachweisen, dass bei der alkoholischen Gärung Zucker in Alkohol und Kohlendioxid umgewandelt wird. Allerdings war es ihm nicht vergönnt herauszufinden, wie dieser Vorgang genau vor sich geht, da er während der Französischen Revolution als ehemaliger Steuerpächter der Erpressung angeklagt wurde und bald darauf auf der Guillotine sein Leben ließ. So blieb es zunächst dabei, dass man die Gärung weiterhin für einen einfachen chemischen Prozess der Umwandlung und nicht etwa für eine Stoffwechselleistung von Mikroorganismen hielt.

Erst der bereits erwähnte Louis Pasteur (siehe Kapitel 1) konnte zeigen, dass kleine Pilze, genauer gesagt einzellige Hefepilze, für die Produktion des Alkohols verantwortlich sind. Pasteur wurde 1822 als Sohn eines Gerbers in der ostfranzösischen Kleinstadt Dole geboren und wollte eigentlich Kunstmaler werden, bis er sich auf Anraten seiner Lehrer doch noch dem Studium der Naturwissenschaften widmete, wobei die Chemie den Schwerpunkt bildete. Nach ersten wissenschaftlichen Erfolgen auf dem Gebiet der Stereochemie wurde er 1849 von der Straßburger Universität zum Professor ernannt, um dann einige Jahre später nach Lille zu wechseln. Dort wandte sich kurz darauf ein gewisser Monsieur Bigo, der Besitzer einer kleinen Alkoholfabrik, an den jungen Wissenschaftler, weil er immer wieder damit zu kämpfen hatte, dass der Rübensaft, aus dem er Alkohol herstellen wollte, sauer und damit unbrauchbar wurde.

Pasteur ließ sich verschiedene Proben aus den Fässern der Alkoholfabrik geben und betrachtete sie unter dem Mikroskop. Dabei fielen ihm in den gesunden Kulturen unzählige kleine Kügelchen auf, die er als Pilze, genauer gesagt als Hefen identifizierte. In der sauer gewordenen Flüssigkeit fehlten diese einzelligen Pilze oder waren nur in sehr geringen Mengen vorhanden. Dafür wimmelte es dort von sehr viel kleineren, stäbchenförmigen Mikroorganismen.

Mit dieser Beobachtung glaubte der erfahrene Chemiker einen Ansatz für die Lösung dieses Problems gefunden zu haben, sodass er seine Untersuchungen fortführte. Dabei konnte er beobachten, dass viele der Hefen kleine Auswüchse bildeten, die nach und nach immer größer wurden, bis sie sich schließlich von der Mutterzelle trennten und allein weiterentwickelten. Außerdem stellte es fest, dass in den verdorbenen Kulturen um so mehr Stäbchen vorhanden waren, je saurer die Lösung war.

Pasteur zog aus diesen Beobachtungen die richtigen Schlüsse: In den gesunden Kulturen wuchsen und vermehrten sich Hefezellen, die dort dank der nahrhaften Flüssigkeit prächtig gediehen. Und während sie den reichlich vorhandenen Zucker des Saftes verbrauchten, gaben sie als Abfallprodukte Alkohol und Kohlendioxid ab. In den verdorbenen Kulturen hatten sich dagegen die stäbchenförmigen Organismen – bei denen es sich, wie wir heute wissen, um Bakterien handelte – stark vermehrt und dabei große Mengen Säure produziert, sodass diese Ansätze unbrauchbar geworden waren.

Bei vielen Kollegen Pasteurs, darunter so berühmten Chemikern wie Justus Liebig (1803–1873), stieß diese Interpretation auf allerdings auf Ablehnung. Einige hielten die Idee sogar für dermaßen abwegig, dass sie nur noch in polemischer Form darauf reagierten, etwa mit Zeichnungen, in denen zuckerfressende Mikroben zu sehen waren, die Alkohol urinierten und denen Kohlendioxid starke Blähungen verursachte. Allerdings konnte Pasteur in den nächsten Jahren lückenlos nachweisen, dass es tatsächlich lebende Organismen waren, in erster Linie Hefen, die dafür sorgten, dass Zucker zu Alkohol und Kohlendioxid umgewandelt wurde.

Bevor wir auf den Vorgang der alkoholischen Gärung näher eingehen, muss zunächst einmal erklärt werden, was Hefepilze eigentlich genau sind. Der Begriff leitet sich von dem mittelhochdeutschen Wort „heffe“ ab, was soviel bedeutet wie „heben“; eine ähnliche Bedeutung hat auch das französische „levure“ („lever“ = aufgehen, erheben), während das englische „yeast“ oder das holländische „gist“ soviel wie Schaum bedeutet. Außerdem muss man wissen, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Organismen gibt, die aufgrund der typischen Abschnürung von Tochterzellen als Hefen bezeichnet werden, wobei die meisten Arten zu den

Ascomyceten gehören. Es gibt aber auch bei anderen Pilzen, etwa bei einigen Basidiomyceten, bestimmte Phasen im Lebenszyklus, die man Hefestadien nennt.

Die meisten Hefen bestehen nur aus einer einzelnen Zelle, die zumeist kugel- bis eiförmig ist. In der Regel beträgt ihr Durchmesser etwa sechs bis acht Mikrometer, also 0,006 bis 0,008 Millimeter (ein Menschenhaar ist dagegen etwa 70 Mikrometer dick), sind also so winzig, dass man sie nur unter dem Mikroskop erkennen kann. Dort findet man an den eher uninteressant aussehenden, gleichförmigen Hefezellen sehr schnell die rundlichen Auswüchse unterschiedlicher Größe, die bereits Pasteur beschrieben hatte. Dabei handelt es sich um Tochterzellen, die von der Mutterzelle gebildet und später abgeschnürt werden, um anschließend als eigenständiger Organismus zu leben.

Diese sogenannte Sprossung der Hefen ist also eine Form der Vermehrung und zwar eine sehr effektive, denn die Verdopplung des gesamten Mikroorganismus dauert unter optimalen Bedingungen nicht länger als 90 Minuten. (Schneller sind nur einige Bakterien, etwa das Darmbakterium *Escherichia coli*, das gerade einmal 20 Minuten benötigt.) Bestmögliche Bedingungen vorausgesetzt, entstehen rechnerisch also nach sechs Stunden aus dem ursprünglichen Organismus 16 Hefezellen, nach 24 Stunden sind es bereits knapp 70.000 und nach zwei Tagen etwa fünf Milliarden.

Weil die Vermehrung ohne einen andersgeschlechtlichen Partner erfolgt, spricht man von ungeschlechtlicher, vegetativer oder asexueller Fortpflanzung, die unter anderem dadurch gekennzeichnet ist, dass es nicht zu einer Neukombination beziehungsweise Rekombination der Erbanlagen kommt. Zwar sind Hefen auch zu einer geschlechtlichen Fortpflanzung in der Lage, aber zu schnödem Sex lassen sich diese puritanischen Pilze zumeist nur dann herab, wenn sich ihre Lebensbedingungen dramatisch verschlechtern. Der Grund dafür ist leicht nachzuvollziehen: Bei der sexuellen Vermehrung entstehen Sporen, die sehr viel robuster sind als vegetative Hefezellen und daher auch ein Austrocknen oder ähnlich unwirtliche Bedingungen besser überstehen.

Für die Herstellung von Wein wird die zu den Ascomyceten gehörende Art *Saccharomyces cerevisiae* verwendet, die in der Lage ist, aus Zucker den erwünschten Alkohol (genau genommen müsste man eigentlich Ethanol sagen) zu produzieren. Möglich ist das, weil die Pilze, die man auch Bäcker-, Wein- oder Bierhefe nennt, eine ganz besondere Eigenschaft besitzen: Sie können sowohl unter aeroben als auch anaeroben Bedingungen leben, also nicht nur in Anwesenheit von Luftsauerstoff, sondern auch unter Luftabschluss.

Mit dieser Fähigkeit ist *Saccharomyces cerevisiae* den meisten anderen Lebewesen einen großen Schritt voraus, denn diese benötigen zum Überleben entweder Sauerstoff (fast alle Tiere und Pflanzen), oder sie vertragen ihn überhaupt nicht, sondern sterben in Anwesenheit von Luft ab (beispielsweise zahlreiche Bakterien). Die Hefen richten sich dagegen nach Angebot und Nachfrage: Ist Sauerstoff vorhanden, dann nutzen sie diesen für ihre Stoffwechseltätigkeit, verbrennen ihr Nährsubstrat also zu Kohlendioxid und Wasser, ein Vorgang, bei dem sehr viel Energie für die Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen gewonnen wird:

Zucker und Sauerstoff ↓ Kohlendioxid und Wasser

oder als Formel ausgedrückt:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \downarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$$

Fehlt der Sauerstoff, ist das für die Hefen nicht weiter tragisch, denn sie geraten nicht, wie es bei Menschen oder den meisten Tieren der Fall wäre, in Atemnot, sondern schalten ihren Stoffwechsel einfach auf die anaerobe Lebensweise um. Unter

diesen Bedingungen wird die Nahrung jetzt nicht mehr zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut, sondern nur noch bis zum Zwischenprodukt Alkohol:

Zucker ↓ Kohlendioxid und Alkohol (Ethanol)

oder als Formel ausgedrückt:

$$C_6H_{12}O_6 \downarrow 2\ CO_2 + 2\ C_2H_5OH$$

Da die Hefen durch diese Form des Stoffwechsels weniger Energie gewinnen (schließlich wird ja nicht mehr der ganze Abbauweg bis zum Endprodukt durchlaufen), können sie sich zwar nicht mehr ganz so schnell vermehren wie an der Luft, aber es reicht immerhin noch für ein recht komfortables Dasein.

Diese Fähigkeit der Hefen, auch unter anaeroben Bedingungen leben zu können und dabei Zucker bis zur Stufe des Ethanols abzubauen, macht sich der Mensch nun bei der Weinherstellung zunutze. Dazu vermischt man den Saft von Früchten – in Mitteleuropa sind es zumeist Weinbeeren, in anderen Teilen der Erde verwendet man dagegen auch Bananen oder auch den Saft von Palmen – mit Hefezellen, die zunächst in Anwesenheit von Sauerstoff wachsen dürfen, damit sie sich gut vermehren. Einige Tage später wird das Gefäß dann mit einem wassergefüllten Gärverschluss versehen, der zwar Kohlendioxid entweichen, aber keinen Sauerstoff eindringen lässt.

Die Folge ist, dass die Hefen ihren Stoffwechsel umstellen müssen, und jetzt Ethanol produzieren, und zwar so lange, bis der Alkoholgehalt so hoch wird, dass selbst die Hefezellen nicht mehr wachsen können.

Verwendet wird für die Weinherstellung zwar nur eine einzige Hefeart, von der es heute aber verschiedene Rassen mit unterschiedlichen Eigenschaften gibt. So verträgt beispielsweise eine Hefe für Tokajer höhere Alkoholkonzentrationen (bis zu 18 Prozent) als eine Zuchtform, die für die Herstellung eines leichten Moselweins (etwa 10 Prozent) eingesetzt wird. Zusätzlich hat die Wahl der Heferasse häufig auch noch einen gewissen Einfluss auf das Bukett des Weines.

Neben der Hefe gibt es aber noch einen weiteren Pilz, der für die Herstellung bestimmter Weine eine ganz entscheidende Rolle spielt. Die Rede ist vom Grauschimmel (*Botrytis cinerea*), einem parasitischen Schimmelpilz, der oft auch Weinbeeren befällt und schädigt. Normalerweise ist das natürlich unerwünscht, weil der Befall, wenn er im Sommer oder Frühherbst erfolgt, zu größeren Ernteeinbußen führen kann. Bei einer Infektion im Spätherbst sind die Weinbauern dagegen eher erfreut, wenn ihre Beeren von Grauschimmel überzogen sind. Der Grund ist, dass der Pilz für ein Absterben der äußeren Zellschichten der Beeren sorgt, was wiederum zu einem starken Flüssigkeitsverlust führt. Dadurch trocknen die Weinbeeren oft innerhalb weniger Tage rosinenartig ein, und es kommt zur sogenannten Edelfäule, bei der der Zuckergehalt auf fast 80 Prozent ansteigen kann. Aus diesen Weinbeeren wird dann die besonders hochwertige Trockenbeerenauslese gewonnen.

Der Deutschen liebstes Getränk

Auch das zweite, schon seit Urzeiten bekannte alkoholische Getränk, das Bier, verdankt seine berauschende Wirkung *Saccharomyces cerevisiae*. Weil in diesem Fall aber keine zuckerreichen Fruchtsäfte vergoren werden, sondern stärkehaltige Ausgangsmaterialien wie Gerste, Weizen, Reis oder Mais, die vom Hefepilz nicht ohne Weiteres in Alkohol umgewandelt werden können, lässt man die Getreidekörner zunächst keimen. Dabei werden Enzyme frei, die die Stärke in Zuckermoleküle zerlegen, die von der Hefe anschließend verwertet werden. Inzwischen schließt man

die Stärke aber auch immer häufiger mit Enzympräparaten auf, die häufig ebenfalls aus Pilzen gewonnen werden, etwa *Aspergillus*-Arten.

Das eigentliche Vergären der Maische erfolgt dann wie beim Wein, wenngleich der Alkoholgehalt in der Regel geringer ist. So hat ein normales Pils oder Weizenbier rund vier Prozent Alkohol, ein herkömmliches Bockbier etwa fünf bis sechs Prozent und das sehr starke Eisbockbier bis zu neun Prozent. Und selbst das sogenannte alkoholfreie Bier weist normalerweise noch einen Alkoholgehalt von 0,5 Prozent auf.

Der Eisbock soll übrigens erst 1890 zufällig durch die Nachlässigkeit eines Brauergesellen entdeckt worden sein, der nach einem langen Arbeitstag keine Lust mehr hatte, die noch auf dem Hof stehenden Bockbierfässer in den Keller zu schaffen. Da es in der folgenden Nacht starken Frost gab, war das Bier am nächsten Morgen fest gefroren und die Fässer geplatzt. In der Mitte der Eisblöcke hatte sich ein allerdings ein nicht gefrorenes Konzentrat angesammelt, das der Geselle auf Geheiß seines Brauers zur Strafe austrinken musste. Und dabei stellte er dann fest, dass es sich um ein wohlschmeckendes, wenn auch sehr starkes Getränk handelte.

Das Bierbrauen beherrschen die Menschen ebenfalls schon seit sehr langer Zeit. Erste schriftliche Belege sind rund 6000 Jahre alt und stammen aus Mesopotamien, wo man angeblich fast die Hälfte der Getreideernte für die Bierherstellung verwendete. Die Babylonier kannten bereits 20 unterschiedliche Biersorten, und ihr König Hammurabi, der von 1728–1686 vor Christus regierte, erließ sehr strenge Gesetze, um die Herstellung und den Verkauf von Bier zu regeln. Eingemeißelt waren sie in eine Säule, die man noch heute im Louvre in Paris besichtigt kann. Dort lässt sich nachlesen, dass Bierpanscher zur Strafe in ihren Fässern ertränkt wurden oder man goss so lange Bier in sie hinein, bis sie erstickten. Und in ähnlicher Weise verfuhr man auch mit Wirten, die minderwertiges Bier teuer verkauften.

Im alten Ägypten spielte das Bier ebenfalls eine wichtige Rolle, was sich schon daran erkennen lässt, dass die Schriftzeichen, die man um 2500 vor Christus für den Begriff „Mahlzeit“ benutzte, sowohl Brot als auch Bier bedeuteten konnten. Bei Griechen und Römern war der Gerstensaft dagegen nicht sehr hoch angesehen, sondern galt eher als Getränk ärmerer Bevölkerungsschichten. Allerdings müssen sich auch hochgestellte Persönlichkeiten wie der griechische Philosoph Aristoteles (384–322 vor Christus) zumindest theoretisch damit beschäftigt haben, denn dieser glaubte festgestellt zu haben, dass jemand, der zu viel Bier getrunken hatte, stets nach hinten umfiel, während einem weinseligen Zecher alle vier Himmelsrichtungen offenstanden.

Dass die Germanen dem Bier oft und reichlich zugesprochen haben, ist kein Geheimnis. So weiß schon Tacitus in seiner Germania zu berichten:

> „Als Getränk dient den Germanen ein Gebräu aus Gerste oder Weizen, das durch Gärung in eine Art Wein verwandelt wird … Im Trinken wissen Sie weniger Maß zu halten [als beim Essen]. Würde man ihrer Trunksucht Vorschub leisten und ihnen die Möglichkeit bieten zu trinken, soviel ihr Herz begehrt, könnte man sie durch diese Charakterschwäche wohl leichter zu Grunde richten als durch Kriege.“

Zumindest in Deutschland scheint diese „Charakterschwäche“ auch heute noch sehr ausgeprägt zu sein, denn in mehr als 1300 Brauereien (das ist die Spitzenstellung in Europa; auf Platz zwei und drei folgen Belgien mit 143 und Großbritannien mit 142 Bier produzierenden Betrieben) sorgen die winzigen Hefepilze

tagaus tagein dafür, dass jeder Deutsche pro Jahr durchschnittlich rund 150 Liter Bier trinken kann.

Pilze verfeinern Nahrungsmittel

Eine ebenfalls sehr wichtige Rolle spielen Pilze aber auch bei der Fermentation bestimmter Nahrungsmittel. So werden besonders im asiatischen Raum zahlreiche pflanzliche Produkte mit Hilfe von Pilzen veredelt. Dies ist nötig, weil beispielsweise Sojabohnen selbst nach stundenlangem Kochen noch hart und schlecht verdaulich bleiben, sodass vor dem Genuss zunächst eine Weiterverarbeitung durch Pilze notwendig wird, die außerdem den Geschmack verbessert. Tabelle 1 vermittelt eine Übersicht über einige exotische Nahrungsmittel, die mit Hilfe von Pilzen fermentiert werden.

Tabelle 1: Mithilfe von Pilzen fermentierte exotische Nahrungsmittel (nach Weber 1993)

Name	Rohstoff	Pilzart	Verwendung	Ursprungsland
Tempeh	Sojabohnen	*Rhizopus microsorus*	Hauptnahrungsmittel	Indonesien
Oncom	Erdnusspresskuchen	*Rhizopus microsorus*; *Neurospora sitophila*	Hauptnahrungsmittel	Indonesien
Bongrek	Kokosnusspresskuchen	*Rhizopus microsorus*	Hauptnahrungsmittel	Indonesien
Sojasoße	Sojabohnen; Weizen	*Aspergillus oryzae*; Hefen; Bakterien	Würzmittel	Ostasien
Miso	Sojabohnen	*Aspergillus oryzae*; Hefen; Bakterien	Würzmittel; Suppeneinlage	Ostasien
Arroz requemado	Reis	*Aspergillus flavus*; *Aspergillus candidus*	Hauptnahrungsmittel	Ecuador
Pozol	Mais	Schimmelpilze; Hefen; Bakterien	Hauptnahrungsmittel	Mexiko
Angkak	Reis	*Monascus purpureus*	Färben von Lebensmitteln	Ostasien

Weitaus bekannter ist dagegen die Tatsache, dass Pilze, in diesem Fall wieder die bereits mehrfach erwähnte Hefe *Saccharomyces cerevisiae*, auch in der Backwarenindustrie eine wichtige Rolle spielen, etwa bei der Herstellung von Brot. Allerdings macht man sich hierbei nicht die Alkoholproduktion zunutze, sondern die starke Kohlendioxidproduktion, damit die ausgeschiedenen Gase dem Teig das typische lockere Gefüge verleihen.

Aber nicht nur pflanzliche Rohstoffe wie Früchte oder Getreide können durch Pilze weiterverarbeitet werden, sondern auch tierische Produkte, beispielsweise Milch oder

Fleischwaren. Allerdings ist dabei zumeist eine enge „Zusammenarbeit“ mit anderen Mikroorganismen notwendig. Das bekannteste Beispiel für diese Form mikrobieller Koproduktion ist sicher der Käse, wobei Sorten wie Blauschimmelkäse (Roquefort) und Weißschimmelkäse (Camembert, Brie) durch Arten wie *Penicillium roqueforti* und *Penicillium camemberti* ihren typischen Geschmack bekommen. Da *Penicillium roqueforti* zum Wachsen sehr viel Sauerstoff benötigt, wird die Blauschimmelkäsemasse bei der Herstellung häufig durch Einstechen mit Nadeln belüftet, und in diesen Stichkanälen werden dann bevorzugt die Massen bläulicher Konidien gebildet, die dem Käse sein charakteristisches Aussehen verleihen.

Ein anderes „Einsatzgebiet“ für Pilze ist die Haltbarmachung von Wurst. Dazu taucht man diese in Flüssigkulturen gesundheitlich unbedenklicher Hefen und Schimmelpilze, die dann außen auf der Wurst einen dichten Rasen bilden, sodass dort kein Platz mehr für Schadorganismen bleibt. Außerdem spielen Pilze eine (allerdings untergeordnete) Rolle bei der Fermentation von Kakao, Tee und Tabak.

Damit ist die Liste der aus menschlicher Sicht nützlichen Eigenschaften aber noch lange nicht vollständig, sondern es gibt noch zahlreiche weitere Substanzen, die wir von Pilzen produzieren lassen (siehe Tabelle 2). An erster Stelle stehen hier natürlich die bereits ausführlich behandelten Antibiotika (siehe Kapitel 9), aber auch die Herstellung von organischen Säuren, etwa Zitronensäure zur geschmacklichen Verfeinerung von Lebensmitteln und von Enzymen, Vitaminen, Aromastoffen, Hormonen und Farbstoffen, spielt heutzutage eine wirtschaftlich nicht unbeträchtliche Rolle.

Tabelle 2: Beispiele für biotechnologisch mit Hilfe von Pilzen hergestellte Substanzen (nach Weber 1993)

Pilz oder Pilzgruppe	Produkt	Verwendung
Aspergillus niger, *Yarrowia lipolytica*	Zitronensäure	Lebensmittelzusatz
Aspergillus niger	Gluconsäure	Lebensmittelzusatz
Aspergillus niger, *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus oryzae*	Amylasen	Stärkeverzuckerung; Beseitigung der Trübung in Fruchtsäften und Bier
Aspergillus niger, *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*	Invertase	Lebensmittelzusatz
Verschiedene *Trichoderma*-, *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten	Zellulasen	Enzymatischer Aufschluss von Zellulose zum Beispiel beim Maischprozess
Aspergillus awamor, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Trichoderma* sp.	Pektinasen	Verbesserung der Pressbarkeit von Obst für die Fruchtsaftherstellung
Aspergillus niger, *Aspergillus oryzae*, *Kluyeromyces maxianus*	Laktase	Herstellung von Diätmilch und Speiseeis
Aspergillus niger, *Penicillium chrysogenum*	Glukoseoxidase	Konservierung von Lebensmitteln
Endothecia parasitica, *Mucor miehei*, *Rhizomucor pusillus*	Rennin	Ersatz von Kälberlab bei der Käseherstellung
Aspergillus niger, *Rhizopus* sp.	Lipasen	Waschmittelzusatz

Pilz oder Pilzgruppe	Produkt	Verwendung
Ashbya gossypii, *Eremothecium ashbyi*	Riboflavin (Vitamin B_2)	Lebensmittelzusatz

Daneben gab es aber auch immer wieder Versuche, dem schnellen Anwachsen der Weltbevölkerung und dem erhöhten Bedarf an eiweißreichen Nahrungsmitteln, vor allen Dingen in der Dritten Welt, dadurch zu begegnen, dass man Mikroorganismen, beispielsweise Hefen oder filamentöse Pilze, in industriellem Maßstab auf billigen Nährlösungen züchtete, um sie dann für die Gewinnung von preiswerten Lebensmitteln und Futterzusätzen zu benutzen. Diese Idee wirkt zunächst bestechend, denn Gras benötigt zur Verdopplung seiner Biomasse beispielsweise ein bis zwei Wochen, bei Schweinen sind es sogar vier bis sechs Wochen, während Pilze dazu nur einige Stunden brauchen. Ein weiterer Vorteil ist, dass Pilze einen relativ hohen Gehalt an hochwertigem Protein besitzen und dass man sie genetisch relativ leicht verändern kann, wodurch sich die Ausbeute unter Umständen noch verbessern lässt. Außerdem sind technische Anlagen zur Herstellung von Protein aus Mikroorganismen verhältnismäßig platzsparend. So benötigt beispielsweise eine Produktionsstätte, in der man täglich 50 Tonnen Hefe herstellen kann, nur eine Fläche von etwa 0,2 Hektar. Wollte man dagegen eine entsprechende Proteinmenge durch Weizenanbau produzieren, brauchte man eine Anbaufläche von rund 16.000 Hektar.

Angesichts dieser offensichtlichen Vorzüge verwundert es nicht, dass man in Deutschland bereits im 1. Weltkrieg versuchte, Hefen – in diesem Fall *Candida utilis* – großtechnisch auf Melasse zu züchten. Weitere Pilotprojekte folgten in den 60er und 70er Jahren des letzten Jahrhunderts, als die Abhängigkeit der europäischen Länder von Futtermitteln aus Übersee immer deutlicher wurde. Dabei verwendete man mit unterschiedlichem Erfolg neben der bereits erwähnten Melasse auch Sulfitablaugen, die bei der Papierherstellung anfallen, Erntereste, Holzabfälle, Molke, Schlachtabfälle und Rückstände aus der Kartoffel-, Mais-, Gemüse- und Obstverarbeitung. Dazu kamen vor der ersten Ölkrise auch noch Erdölprodukte.

Allerdings hat sich gezeigt, dass die Umsetzung dieser eigentlich bestechenden Idee einige Schwierigkeiten mit sich bringt. So gibt es immer wieder Probleme wegen der schwer verdaulichen Pilzzellwände; außerdem ist der Gehalt an Nukleinsäuren sehr hoch, was beispielsweise beim Menschen einen erhöhten Harnsäurespiegel zur Folge haben kann, häufig verbunden mit Gichterkrankungen oder Gallen- und Nierensteinen. Daher war es notwendig, die Produkte weiter zu bearbeiten, wodurch sich das Verfahren natürlich verteuerte. Und auch als Tierfutter haben sich auf diese Weise gewonnene Produkte nicht durchsetzen können, sodass viele der anfangs als sehr optimistisch eingeschätzten Versuche inzwischen weitgehend wieder eingestellt wurden.

Speise- und Kulturpilze

Dagegen spielen Speisepilze eine durchaus wichtige Rolle für die menschliche Ernährung. Zwar gibt es keine genauen Angaben darüber, wie viele wild wachsende Pilze jedes Jahr am heimischen Herd zubereitet werden, aber man schätzt, dass es allein im Gebiet der ehemaligen Sowjetunion rund drei Millionen Tonnen sind. Dazu kommen natürlich die Kulturpilze, deren Produktionszahlen seit Jahrzehnten ständig anwachsen. In Europa handelt es sich dabei hauptsächlich um den Kulturchampignon (*Agaricus bisporus*), einen Basidiomyceten, von dem jedes Jahr weltweit fast eine

Million Tonnen in den Handel kommen. Dass sich dieser Pilz gut züchten lässt, entdeckte man übrigens bereits im 17. Jahrhundert in Frankreich, weil er dort regelmäßig in Mistbeeten für die Melonenkultur auftauchte. Und die französischen Pilzzüchter gehören auch heute noch zu den größten Champignonproduzenten.

Sehr viel länger kultiviert man dagegen schon andere Arten, etwa den auf Holz wachsenden und ebenfalls zu den Basidiomyceten gehörenden Shiitake-Pilz (*Lentinula eodes*), der in China und Japan seit etwa 2000 Jahren gezüchtet wird und in der Jahresproduktion weltweit die zweite Stelle einnimmt. Daneben gibt es noch eine Anzahl weiterer Arten, die aber eine eher untergeordnete Rolle spielen. Steinpilze, Pfifferlinge oder Maronen wird man dagegen in den Pilzzuchtbetrieben vergeblich suchen. Sie lassen sich bisher noch nicht kultivieren, da sie in einer engen Gemeinschaft mit Bäumen leben (siehe Kapitel 11) und daher ohne ihren Pflanzenpartner nicht existieren können.

Ähnlich verhält es sich mit den zu den Ascomyceten gehörenden Trüffeln, die ebenfalls eine obligate Lebensgemeinschaft mit Bäumen bilden. Trüffeln sind recht ungewöhnliche Pilze, da sie praktisch ihr ganzes Dasein unter der Erde verbringen, also nicht einmal ihre Fruchtkörper aus dem Boden herausschieben. Dies hat zur Folge, dass ihre Verbreitung sich weitaus komplizierter gestaltet als bei anderen Pilzen, denn die Sporen können ja nicht durch den Wind davongeweht werden. Daher müssen Trüffeln dafür sorgen, dass Tiere die Verbreitung übernehmen. Damit wenden sie also eine ähnliche Taktik an, wie man sie auch von einigen Pflanzen kennt, etwa Misteln oder Eiben, die auffällig gefärbte, fleischige Früchte bilden, die gern von Vögeln gefressen werden. Verdaut wird anschließend allerdings nur das Fruchtfleisch, während die harten Samen an einer anderen Stelle und gleich noch mit ein wenig Dünger versehen, unversehrt wieder ausgeschieden werden.

Allerdings sind ihre Fruchtkörper der Pilze, im Gegensatz zu den weithin sichtbaren Beeren der Eiben und Misteln, für Tiere ja nicht ohne Weiteres auszumachen. Daher produzieren diese Pilze einen typischen Geruchsstoff, mit dem Wildschweine, für die Trüffeln ebenfalls eine Delikatesse darzustellen scheinen, angelockt werden, denn er ist chemisch ganz ähnlich aufgebaut wie der Sexuallockstoff von Ebern. Haben die Tiere die unterirdischen Fruchtkörper gefunden und aufgefressen, durchlaufen die widerstandsfähigen Trüffelsporen den Magen-Darm-Trakt der Schweine und werden dann an anderer Stelle – Dünger inklusive – wieder ausgeschieden.

Neben Wildschweinen gibt es aber auch noch andere Tiere, die ein starkes Interesse an diesen seltsamen Pilzen zeigen. So graben sich beispielsweise bestimmte Käferlarven einen Gang zu den Trüffeln, um sich in den Fruchtkörpern zu verpuppen. Später nehmen dann die geschlüpften Käfer einige Sporen mit ins Freie und verbreiten den Pilz auf diese Weise. Aber auch Rotwild und Mäuse sind Trüffeln nicht abgeneigt, während in Südamerika Gürteltiere und Beutelratten und in Australien bestimmte Känguruarten für die Ausbreitung sorgen.

Allerdings haben all diese Tiere seit einigen Jahrhunderten eine ernsthafte Konkurrenz zu fürchten, denn Trüffeln gelten unter Feinschmeckern als ausgesprochene Delikatesse. Weil unsere Nasen jedoch nicht fein genug sind, um die Pilze im Erdboden aufzuspüren, lassen sich Sammler von an der Leine in den Wald geführten Hausschweinen und inzwischen noch häufiger von speziell ausgebildeten Hunden bei der Suche nach den etwa ei- bis faustgroßen Fruchtkörpern helfen. Und die Mühe lohnt sich, denn für ein Kilogramm der unter Gourmets besonders begehrten Trüffelarten (*Tuber melanosporum* und *Tuber magnatum*) werden heute etwa 2000–5000 Euro bezahlt, wobei die Preise ständig weiter steigen, weil die Delikatesse immer knapper wird. Wurden Anfang des 20. Jahrhunderts jährlich noch

etwa 1000 Tonnen des begehrten Pilzes geerntet, so kamen 1990 nur noch rund 50 Tonnen auf den Markt.

Natürlich hat es bei solchen Gewinnspannen nicht an Versuchen gefehlt, Trüffeln im Labor oder unter einfachen Bedingungen in Gartenzuchtbetrieben zu kultivieren. Allerdings halten sich die Erfolge in Grenzen, denn es ist, wie bereits erwähnt, aufgrund der engen Lebensgemeinschaft mit Bäumen (zumeist Eichen) nicht möglich, diese Pilze wie Champignons auf einfachem Kompost oder auf Pferdemist wachsen zu lassen. Daher ist man schon seit längerer Zeit dazu übergangen, ganz gezielt Eichenwälder anzupflanzen, wobei der Boden gleichzeitig mit Trüffelmyzel beimpft wird. Danach muss man „nur“ noch sechs bis zehn Jahre warten, bis man sich von einem Trüffelschwein oder einem Trüffelsuchhund zu den begehrten Fruchtkörpern führen lassen kann.

Eine derart große Mühe bei der Beschaffung der hoch geschätzten Pilze verlangt aber auch vom Konsumenten eine gewisse Opferbereitschaft. So empfehlen erfahrene Chefköche, beim Essen einer Trüffelspeise die Serviette über Kopf und Teller zu decken, damit nichts von dem köstlichen Aroma verloren geht.

Pilze in der biologischen Schädlingsbekämpfung

Auf eine völlig andere Art und Weise profitieren wir dagegen von einer weiteren sehr ungewöhnlichen Gruppe von Pilzen, den sogenannten Nematodenfängern. Bei ihnen handelt es sich um Fallen stellende Pilze, die man in gewisser Weise mit den sogenannten fleischfressenden Pflanzen (Karnivoren) vergleichen kann. Opfer der kleinen räuberischen Pilze sind Fadenwürmer (Nematoden), die wegen ihrer schlängelnden Bewegung, die an einen Aal erinnert, auch Älchen genannt werden.

Fadenwürmer kommen in ungeheuren Mengen im Erdboden vor. Gartenerde enthält pro Kubikmeter manchmal bis zu 5000 dieser nur wenige Millimeter großen Tiere, und weil viele von ihnen sind Pflanzenparasiten sind, können sie an unterschiedlichen Feldfrüchten beachtliche Schäden verursachen. So werden die Verluste, die Fadenwürmer jährlich in den USA verursachen, auf über 350 Millionen Dollar geschätzt, und eine übermäßig starke Vermehrung dieser Schädlinge kann zu regelrechten Erntekatastrophen führen, so geschehen vor etwas mehr als 100 Jahren, als der Zuckerrübenanbau in der Magdeburger Börde völlig zusammenbrach, nachdem das Rübenzystenälchen (*Heterodera schachtii*), über Jahre hin die Ernten stark beeinträchtigte. Und auch der geheimnisvolle Auszug der Maya aus ihrem scheinbar blühenden Lebensraum in Mittelamerika soll nach Ansicht einiger Experten auf die Verseuchung der Felder mit Nematoden zurückzuführen sein.

Diese aus menschlicher Sicht unangenehmen Plagegeister sind nun die bevorzugten Opfer der Fallen stellenden Pilze, von denen die meisten nicht einmal einen deutschen Namen haben. Zahlreiche der rund 160 Arten gehören zur Gattung *Arthrobotrys*, aber es gibt auch aus vielen anderen Gruppen Vertreter, die zu dieser ungewöhnlichen Form des Nahrungserwerbs befähigt sind.

Um die kleinen, recht beweglichen Würmer überwältigen zu können, bilden die Pilze besondere Fangorgane, etwa feinmaschige Netze. Aufgebaut sind diese aus speziellen Hyphen, die eine klebrige Substanz absondern können. Gerät nun ein Nematode in dieses Netz, wird er sowohl von den Maschen als auch von dem Klebstoff festgehalten, und je mehr der kleine Wurm sich windet, umso stärker verfängt er sich in der Falle des Pilzes. Ein Entkommen ist normalerweise unmöglich, und oft ist dieser ungleiche Kampf erst nach Tagen beendet, nämlich dann, wenn die Kräfte des Fadenwurmes endgültig erlahmt sind. Etwas schneller geht es bei

Fallenstellern, die zusätzlich ein Gift absondern, das die kleinen Nematoden unbeweglich macht oder sogar tötet. Anschließend bildet die Pilze dann sogenannte Infektionshyphen, die die äußere, relativ feste Außenhaut des Älchens durchstoßen und in den Körper hineinwachsen, bis das gesamte Tier von Hyphen durchwuchert ist und schließlich nur noch die leere Chitinhülle des unglücklichen Wurms übrig bleibt.

Sehr erfolgreich sind auch Arten, die keine klebrigen Fangnetze bilden, sondern winzige Schlingen. Gerät ein Älchen dort hinein, schwellen die Zellen, aus denen die Schlinge aufgebaut ist, im Bruchteil einer Sekunde auf das Dreifache ihres vorherigen Volumens an und schnüren den Wurm ein. Anschließend saugen auch diese Pilze den kleinen Schädling aus, und vollenden damit das aus menschlicher Sicht so nützliche Werk. Eine dritte Gruppe bildet dagegen klebrige Sporen, die im Boden liegend darauf „warten", dass ein Nematode in die Nähe kommt. Ist das der Fall, heften sie sich an seinen Körper, um dort auszukeimen und den Fadenwurm mit Hyphen zu durchwuchern.

Natürlich sind Menschen schon vor längerer Zeit auf die Idee gekommen, diese Pilze zur biologischen Schädlingsbekämpfung einzusetzen. Erste Versuche wurden bereits Mitte der 30er Jahre des letzten Jahrhunderts auf Hawaii durchgeführt, und inzwischen gibt es eine Reihe von Präparaten (zumeist auf einem künstlichen Nährboden gezogene Pilze), die besonders im Gemüseanbau eingesetzt werden, etwa in Betrieben, die Tomaten und Champignons kultivieren. Allerdings dünnen sich die eingebrachten Pilze relativ schnell wieder aus, sodass man den Boden nach einiger Zeit neu beimpfen muss.

Aber auch andere Formen der biologischen Schädlingsbekämpfung werden mit Hilfe von Pilzen durchgeführt, etwa mit insektenpathogenen Arten. So besprüht man in den USA und in Russland große Wasserflächen mit *Metarrhizium*-Konidien, um Mückenlarven zu vernichten, oder man bekämpft mit ihnen den Dickmaulrüssler (*Otiorhynchus sulcatus*), einen Käfer, der in jüngerer Zeit in vielen Gewächshäusern zum Problem geworden ist.

Aus der Tatsache, dass so unterschiedliche Insekten wie Mücken und Käfer befallen werden, kann man bereits ersehen, dass die Arten der Gattung *Metarrhizium* bei der Auswahl ihrer Opfer nicht sehr wählerisch sind. Insgesamt können 160 verschiedene Insektenarten befallen werden, sodass sich man die Präparate vergleichsweise universell einsetzen lassen. Allerdings ist diese augenscheinliche Stärke auch gleichzeitig eine große Schwäche, denn es werden natürlich nicht nur Schad-, sondern auch Nutzinsekten infiziert und getötet. Es gibt aber auch Pilzarten, die nur ganz bestimmte Insekten befallen. Allerdings spielen diese bei der biologischen Schädlingsbekämpfung bisher noch keine sehr große Rolle. Eine Ausnahme bilden einige *Verticillium*-Arten, die spezifisch Blattläuse oder Weiße Fliegen angreifen und daher zur Bekämpfung dieser Schädlinge in Gewächshäusern eingesetzt werden können.

Aber nicht nur Insekten rückt man mit Pilzen zu Leibe, sondern auch Pflanzen und sogar anderen Pilzen. So kann man beispielsweise das Wachstum von Unkräutern wie Ackerwinde (*Convolvulus* spp.) oder Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) verringern, indem man Sporen von *Colletotrichum dematium* beziehungsweise *Sclerotina sclerotiorum* ausbringt, während sich *Heterobasidium annosum* gegen einen Pilz namens *Verticillium fungiola* einsetzten lässt, der in Champignonzuchtbetrieben oft beträchtliche Schäden hervorruft.

Insgesamt befindet sich das Gebiet der biologischen Schädlingsbekämpfung aber noch in seinen Anfängen, sodass in Zukunft sicher noch mit einer verstärkten Anwendung zu rechnen ist.

Wahlverwandtschaften

Die aus menschlicher Sicht positiven Eigenschaften der Pilze erschöpfen sich aber nicht allein in der biologischen Schädlingsbekämpfung, der Produktion von Antibiotika, Wein und Bier oder dem Haltbarmachen von Lebensmitteln. Vielmehr gibt es noch eine Reihe weiterer sehr nützlicher pilzlicher Aktivitäten, die diese Organismen nahezu unbeachtet in aller Stille ausführen, aber ohne die ein Leben auf der Erde – zumindest in der jetzigen Form – kaum möglich wäre.

Die Rolle der Pilze für den Stoffkreislauf

Bekanntlich sind Pflanzen die Grundlage allen irdischen Lebens, weil sie dank eines Prozesses, der Fotosynthese genannt wird, aus den anorganischen Substanzen Kohlendioxid, Wasser und Mineralsalzen mithilfe des Sonnenlichts organische Substanzen synthetisieren können. Insgesamt produzieren Pflanzen jährlich eine Biomasse von 100 Milliarden Tonnen. Der größte Teil davon sind Polysaccharide, von denen die Zellulose wiederum etwa die Hälfte ausmacht. Diese Unmenge an organischer Substanz muss natürlich abgebaut und wieder in den Stoffkreislauf eingegliedert werden, denn Pflanzen können hochmolekulare Substanzen nicht direkt aufnehmen, sondern benötigen ihre Nährstoffe in Form anorganischer Bestandteile.

An diesem Abbau sind in erster Linie Bakterien und Pilze beteiligt, wobei man allerdings nicht genau weiß, wie groß der jeweilige Anteil der beiden Organismengruppen an den einzelnen Prozessen ist. Fest steht jedoch, dass Pilze bei der Zersetzung von Holz die entscheidende Rolle spielen und

somit zu einem nicht unbeträchtlichen Teil an der Umsetzung der pflanzlichen Biomasse beteiligt sind.

Bekanntlich bestehen Bäume größtenteils aus verholzten Zellen, die durch Einlagerung von Lignin so fest werden, dass sie ein stabiles Stützgewebe bilden, sodass viele Exemplare zu wahren Riesen heranzuwachsen können. Lignin ist eine bräunliche Substanz aus Phenylpropanen und macht neben der Zellulose den größten Teil der pflanzlichen Biomasse aus. Bei der Lignineinlagerung sterben die Zellen jedoch ab, sodass Bäume einen beträchtlichen Teil ihrer Energie in die für sie unwiederbringlich verlorene Holzproduktion investieren.

Aber irgendwann wird jeder Baum alt und stirbt. In seinem Holz sind dann tonnenweise wertvolle Substanzen wie Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor enthalten, die andere Pflanzen in seiner Nähe eigentlich gut gebrauchen könnten. Wie bereits erwähnt sind diese jedoch nicht in der Lage, so komplexe Moleküle wie Zellulose oder Lignin aufzunehmen. Und hier kommen nun die Pilze ins Spiel, denn unter ihnen gibt es zahlreiche Arten, die die Zellulose und Lignin aufschließen können. Zurück bleiben dann stark aufgehellte Holzreste, sodass man diesen Prozess Weißfäule nennt. Wird dagegen zunächst nur die farblose Zellulose verwertet, spricht man von Braunfäule, weil hauptsächlich braunes Lignin zurückbleibt. Als Ergebnis dieses Abbauprozesses werden in beiden Fällen niedermolekulare Substanzen frei, die nun von Pflanzen aufgenommen werden können. Und das gilt nicht nur für die Zersetzung von Baumstämmen, denn auch in der Zellwand krautiger Pflanzen kommt Lignin vor, so dass die Rolle der Weißfäule- und Braunfäulepilze für den Stoffkreislauf nicht hoch genug geschätzt werden kann.

Oft warten die Pilze aber nicht erst ab, bis ein Baum abstirbt oder durch einen Sturm gefällt wird, sondern sie beginnen bereits früher mit dem Abbau des Holzes. Für jedermann sichtbar wird das zumeist an den Fruchtkörpern, die zwangsläufig irgendwann an der Außenseite der

Stämme erscheinen. Diese können beispielsweise beim Riesenporling (*Meripilius gigantaeus*) einen Durchmesser von bis zu 90 Zentimetern haben, sodass man unwillkürlich glaubt, das Ableben des Baumes sei nur noch eine Frage der Zeit. Aber das trifft nicht zu. Da der Pilz nur die bereits toten Teile des Baumes befällt, kann sich seine Anwesenheit sogar positiv für die Pflanze auswirken, weil der Baum, dank der Tätigkeit des Pilzes, die Substanzen des zuvor unverwertbaren Holzes nicht selten selbst für seinen Stoffwechsel nutzt. Daher bilden viele Bäume an der Stelle, an der das verrottete Innere eines Stammes auf den Boden gefallen ist, sehr schnell neue Wurzeln, um die freigewordenen Nährstoffe sofort wieder aufzunehmen.

Unerwünschter Abbau

Für den Menschen wird die Fähigkeit zum Abbau von Holz allerdings manchmal zum Problem, denn natürlich unterscheiden Holz zersetzende Pilze nicht zwischen einem abgestorbenen Baum im Wald und Holz, das beispielsweise zum Bau von Häusern verwendet wird. Daher kann es Vorkommen, dass auch dieses Material von Pilzen befallen wird, etwa vom Echten Hausschwamm (*Serpula lacrymans*), wobei sich hinter diesem harmlos klingenden Namen ein wahrhaft zerstörerischer Organismus verbirgt, der betroffene Hausbesitzer durchaus in den Ruin treiben kann.

Dabei ist die spätere Katastrophe anfänglich kaum zu erahnen. So werden zunächst nur feucht gewordene, hölzernen Bauteile eines Hauses befallen, beispielsweise Balken in einem schlecht gelüfteten Keller, weil Hausschwammsporen nur dort auskeimen, wo ausreichend Wasser vorhanden ist. Und hat der Pilz aber erst einmal mit seinem zerstörerischen Werk begonnen, dauert es nicht lange, bis die ersten der infizierten Balken zu Staub zerfallen. Aber das ist nur der Anfang, denn bei der Zersetzung des Holzes wird neben Kohlendioxid immer auch

Wasser frei, und mithilfe dieser Feuchtigkeit kann der Hausschwamm sehr schnell zuvor noch trockene hölzerne Bauteile befallen, sodass nach und nach oft das gesamte Holzwerk eines Hauses vernichtet wird.

Anfangs ist der Befall mit dem Hausschwamm nur daran zu erkennen, dass die feuchten Balken und Bretter von einer watteartigen Myzelschicht überzogen sind; später werden dann zusätzlich bis zu einem Quadratmeter große, gelb- bis rostbraune Fruchtkörper gebildet. Diese müssen aber nicht notwendigerweise auf einem von Hyphen durchwucherten Balken sitzen, sondern erscheinen oft auch am benachbarten Mauerwerk, das der Pilz mit seinen kräftigen, manchmal bleistiftdicken Myzelsträngen schnell überspannt oder sogar durchdringt. Dies führt dazu, dass nicht nur Balken und Bretter in Mitleidenschaft gezogen werden, sondern auch die gemauerte Substanz des Gebäudes, was den Verfall schnell weiter fortschreiten lässt. Erfolgreich bekämpfen kann man den Hausschwamm nur dann, wenn der Befall rechtzeitig erkannt und die entsprechende Bausubstanz sofort entfernt und vernichtet wird. Außerdem muss man die verbliebenen Balken und Bretter anschließend sorgfältig mit chemischen Konservierungsmitteln behandeln.

In sehr ähnlicher Form ging man übrigens auch schon im Altertum gegen den Hausschwamm vor. Allerdings kannte man seinerzeit die genauen Ursachen des Holzverfalls noch nicht, sodass beispielsweise die Bibel von „Aussatz an Häusern“ spricht:

Gesetz über Aussatz an Häusern

Und der HERR redete mit Mose und Aaron und sprach: Wenn ihr ins Land Kanaan kommt, das ich euch zum Besitz gebe, und ich lasse an irgendeinem Hause eures Landes eine aussätzige Stelle entstehen, so soll der

> kommen, dem das Haus gehört, es dem Priester ansagen und sprechen: Es sieht mir aus, als sei Aussatz an meinem Hause.
>
> Da soll der Priester gebieten, dass sie das Haus ausräumen, ehe der Priester hineingeht, die Stelle zu besehen, damit nicht alles unrein werde, was im Hause ist. Danach soll der Priester hineingehen, das Haus zu besehen.
>
> Wenn er nun den Ausschlag besieht und findet, dass an der Wand des Hauses grünliche oder rötliche Stellen sind, die tiefer aussehen als sonst die Wand, so soll er aus dem Hause herausgehen, an die Tür treten und das Haus für sieben Tage verschließen.
>
> Und wenn er am siebenten Tag wiederkommt und sieht, dass der Ausschlag weitergefressen hat an der Wand des Hauses, so soll er die Steine ausbrechen lassen, an denen der Ausschlag ist, und hinaus vor die Stadt an einen unreinen Ort werfen.
>
> Und das Haus soll man innen ringsherum abschaben und den abgeschabten Lehm hinaus vor die Stadt an einen unreinen Ort schütten… Wenn dann der Ausschlag wiederkommt und ausbricht am Hause… so ist es gewiss ein fressender Aussatz am Hause, und es ist unrein.
>
> Darum soll man das Haus abbrechen, Steine und Holz und allen Lehm am Hause, und soll es hinausbringen vor die Stadt an einen unreinen Ort… Wenn aber der Priester hineingeht und sieht, dass der Ausschlag nicht weiter am Hause gefressen hat, nachdem es neu beworfen ist, so soll er es rein sprechen; denn der Ausschlag ist heil geworden. (3. Mose 14, 33–48)

Der hier geschilderten Vorgehensweise könnte man also im Grunde auch heute noch folgen, denn bei einem Befall sind die Konsequenzen immer noch die gleichen: Wird der Hausschwamm nicht rechtzeitig als Gefahrenquelle erkannt

und beseitigt, bleibt einem über kurz oder lang nichts anderes übrig, als dem Ratschlag der Bibel zu folgen, und das Haus völlig abzureißen. Bevor der Möbelwagen bestellt wird, sollte man aber zunächst noch einmal einen Experten hinzuziehen werden, denn mit ein wenig Glück hat man es nicht mit dem Echten Hausschwamm zu tun, sondern mit dem Wilden Hausschwamm (*Serpula himantoides*) oder seinen Verwandten *Serpula minor* beziehungsweise *Serpula pinastri*, die ebenfalls verbautes Holz zerstören, wenn auch zumeist nicht auf so aggressive Weise, wie man es vom Echten Hausschwamm kennt.

Pilze greifen aber nicht nur Holz an, sondern auch zahlreiche andere Stoffe, beispielsweise Papier, das in zu feuchten Räumen gelagert wurde. Dabei kommen von einer einfachen Verfärbung bis zur völligen Auflösung des Materials alle Zwischenstadien vor. Insgesamt wurden von befallenen Büchern und Archivmaterial mehr als 200 verschiedene Pilzarten isoliert, bei denen es sich in der Mehrzahl um Schimmelpilze handelte.

Und auch feucht gewordene Tapeten werden leicht von Pilzen bewachsen, wobei sie sich häufig dunkel verfärben. Heute ist dies im Grunde hauptsächlich ein ästhetisches Problem, aber in der Vergangenheit wurden bei der Tapetenherstellung arsenhaltige Farben verwendet, aus denen bestimmte Schimmelpilze während des Abbaus giftige Stoffe wie Trimethylarsin oder Kakodyloxid freisetzten, sodass es bei Menschen, die sich in solchen Räumen aufhielten, zu Vergiftungserscheinungen kam. Vereinzelt sollen sogar Todesfälle zu beklagen gewesen sein.

Weitere beliebte Materialien für Pilzbefall sind Produkte aus Textilfasern, die zu feucht gelagert wurden, beispielsweise Feuerwehrschläuche und Zelte oder Kleidungsstücke aus Wolle beziehungsweise Leder. Und auch vor wertvollen Gemälden machen Pilze nicht halt. Besonders gefährdet sind dabei alte Kunstwerke, weil Farben früher zumeist unter der Verwendung von

Knochenleim, Stärkekleister, Gummi arabicum oder Leinöl hergestellt wurden und diese Substanzen von bestimmten Pilzen abgebaut werden können. Gefährdet sind in vielen Fällen aber nicht nur die Farben, sondern auch die Leinwand oder das Holz des Rahmens.

Unter ungünstigen Umständen kann ein solcher Pilzbefall zu beträchtlichen Schäden führen, so geschehen nach einem Hochwasser, von dem die Museumsstadt Florenz im Jahre 1966 heimgesucht wurde. Durch den Wassereinbruch in viele Gebäude, darunter auch Museen, erhöhte sich die Luftfeuchtigkeit dort so sehr, dass die winzigen Pilzsporen, die sich im Verlaufe der Jahrhunderte auf den Gemälden abgelagert hatten, plötzlich ideale Bedingungen zum Auskeimen vorfanden und nun die unterschiedlichen, zur Herstellung der Kunstwerke verwendeten organischen Stoffe abbauten.

Ein noch ungewöhnlicheres Substrat bevorzugt der sogenannte Kerosinpilz (*Hormoconis resinae*), der – nicht unschwer zu erraten – auf dem Treibstoff für Flugzeugtriebwerke wachsen kann. Allerdings benötigt er dazu Wasser, das ihm in Form von Kondensflüssigkeit jedoch häufig in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Problematisch und für Flugpassagiere lebensgefährlich wird das häufig unentdeckte Wachstum dieses Pilzes, wenn sein Myzel Treibstoffleitungen oder -filter verstopft. Oft besteht aber auch die Gefahr, dass die Metalltanks eines Flugzeuges durch organische Säuren beschädigt werden, die dieser Pilz beim Wachsen produziert und ausscheidet.

Die Liste der Substanzen, auf denen Pilze wachsen können, ließe sich noch eine ganze Zeit fortsetzen, denn im Grunde muss man auf den unterschiedlichsten Materialien mit Pilzbefall rechnen, seien es nun Öle oder Schmiermittel, pharmazeutische Produkte wie Salben und Lotionen oder sogar Kunststoff, beispielsweise Beschichtungen von Heizöltanks. Aber auch Glas kann von Pilzen in Mitleidenschaft gezogen werden. Hiervon können besonders

Fotografen ein Lied singen, die sich längere Zeit in den Tropen aufhalten, denn begünstigt durch die hohe Luftfeuchtigkeit besiedeln Pilze dort gern den Kitt von Kameraobjektiven. Von dort aus wachsen die Hyphen dann auf das Glas der Objektive und verätzen durch die Ausscheidung organischer Säuren die wertvollen Linsen. Wird ein Objektiv längere Zeit nicht benutzt, kann es aber auch passieren, dass dem Benutzer die Linsen plötzlich einzeln entgegen fallen, weil der Kitt, mit dem sie befestigt waren, von den Pilzen weitgehend aufgelöst wurde.

Lebensgemeinschaft mit Pflanzen

Wenden wir uns abschließend aber noch einmal den aus menschlicher Sicht positiven Eigenschaften der Pilze zu. Genauer gesagt soll es an dieser Stelle um die Leistung der Pilze gehen, die diese in Symbiosen mit Pflanzen für den Gesamthaushalt der Natur leisten. An erster Stelle ist in diesem Zusammenhang sicher die sogenannte Mykorrhizasymbiose zu nennen, wobei Mykorrhiza in der Übersetzung nichts anderes als „Pilzwurzel" bedeutet, und wir werden gleich sehen, dass es eine recht gelungene Bezeichnung ist.

Viele Pflanzen, darunter zahlreiche Bäume, sind nicht in der Lage, alle lebensnotwendigen Nährstoffe aufzunehmen, wenn deren Konzentration im Boden sehr niedrig ist. Dagegen können viele Pilze auch unter solchen Bedingungen noch immer problemlos Mineralien und andere wichtige Substanzen anreichern. Dafür fehlt den Pilzen bekanntlich die Fähigkeit, mithilfe der Fotosynthese aus Sonnenenergie, Kohlendioxid und Wasser organische Substanzen zu synthetisieren, sodass sie auf andere Formen der Ernährung zurückgreifen müssen. Somit lag es für beide Seiten nahe, ein „Bündnis" zum gegenseitigen Nutzen einzugehen, eine sogenannte Symbiose, von der beide Partner profitieren: Der Pilz versorgt die Pflanze mit

Mineralsalzen und wird dafür im Gegenzug mit organischen Verbindungen belohnt.

Um dieses zu ermöglichen, bildet der Pilz einen dichten Hyphenmantel um die Wurzeln des Pflanzenpartners und dringt dann in das Gewebe ein, sodass dort später der Stoffaustausch stattfinden kann. Anschließend durchzieht er den Boden der Umgebung mit einem ausgedehnten Myzelgeflecht und erschließt der Pflanze dadurch einen viel größeren Bereich, als es ihr allein mit den Wurzeln möglich wäre, ganz abgesehen davon, dass Pilzhyphen viele Nährsubstanzen in deutlich geringeren Konzentrationen aufnehmen können als Pflanzen. Außerdem ist es möglich, dass ein einzelner Pilz Verbindungen mit mehr als einem Baumpartner eingeht, sodass oft große Areale eines Waldbodens von einem dichten, zusammenhängenden Hyphennetz durchzogen sind.

Grundsätzlich lassen sich zwei Formen von Mykorrhizasymbiosen unterscheiden. Die erste ist die sogenannte Ektomykorrhiza (griechisch „ektos“ = außerhalb), bei der die Hyphen nur in die Zellzwischenräume der Wurzel eindringen. Diese Form des Zusammenlebens gehen viele unserer Waldbäume mit verschiedenen Basidiomyceten ein. Insgesamt gibt es Tausende von Arten, die zu einer solchen Symbiose befähigt sind, darunter auch zahlreiche Speisepilze, etwa Pfifferling, Steinpilz oder Ritterling. Dabei ist der Pilzpartner in seiner Wahl normalerweise nicht festgelegt, wenn es auch einige Arten gibt, die, wie Pilzsammler bestätigen werden, nur unter bestimmten Bäumen wachsen, was sich oft auch schon am Namen erkennen lässt, etwa beim Lärchenröhrling oder Birkenpilz.

Bei der zweiten Form der Mykorrhizierung dringen die Pilze dagegen direkt in einzelne Pflanzenzellen ein, um dort zumeist spezielle Strukturen zu bilden, die Arbuskel genannt werden. An der Oberfläche dieser Arbuskeln findet dann ein sehr intensiver Austausch von Signalen und Nährstoffen

statt. Da sich die Hyphen in diesem Fall bis in die Pflanzenzellen ausdehnen, spricht man von Endomykorrhiza (griechisch „endon“ = innen). Diese Symbioseform ist sogar noch weiter verbreitet als die Ektomykorrhiza, und weil zudem viele Gräser, zu denen ja die meisten unserer Getreidearten gehören, auf Endomykorrhizapilze angewiesen sind, spielt diese Gemeinschaft zum gegenseitigen Nutzen auch wirtschaftlich eine bedeutende Rolle.

Wie man bei der Untersuchung fossiler Pflanzenreste feststellte, finden sich solche Arbuskeln schon in ganz alten Fossilien, sodass es sich bei dieser Art des Zusammenlebens wohl um eine sehr frühe Entwicklung handelt. Möglicherweise gab es diese Form der Symbiose sogar schon bei den ersten Landpflanzen, was ihnen die Anpassung an ihrem neuen und schwierigen Lebensraum sicherlich erleichtert hätte. Bei vielen Orchideen findet man eine solche „Starthilfe“ auch heute noch, denn deren Samen sind häufig so klein, dass sie – im Gegensatz zu denen der meisten anderen Pflanzen – keine Nährstoffreserven für die Keimlinge besitzen. Daher könnten sie sich ohne die Hilfe von Pilzen, die ihre Samen und Keimlinge mit Nährstoffen versorgen, auch nicht erfolgreich ausbreiten.

Aber auch zahlreiche andere Pflanzen profitieren von der Mykorrhizasymbiose. Besonders deutlich wird das, wenn man das Keimverhalten oder Wachstum bestimmter Arten unter sterilen Anzuchtbedingungen, also ohne Pilzpartner, mit solchen vergleicht, denen Pilze zur Ausbildung einer Symbiose zur Verfügung standen. Dabei zeigt sich, dass Pflanzen in Anwesenheit ihres Mykorrhizapartners nicht schneller und mit höherer Rate auskeimen, sondern auch erheblich besser wachsen als die pilzlosen Vergleichsexemplare. So haben beispielsweise steril gezogenen Petersilienpflanzen gerade erst die Keimblätter entfaltet, während Vergleichspflanzen, denen Pilzpartner zur

Verfügung standen, normalerweise bereits drei richtige Blattpaare besitzen.

Besonders auffällig werden solche Unterschiede immer dann, wenn das Pflanzsubstrat nicht alle Nährstoffe in ausreichender Konzentration enthält, sondern einzelne Substanzen, etwa Phosphat, nur in geringen Mengen vorliegen. Und weil gerade dringend benötigte Nährstoffe unter natürlichen Bedingungen oft limitiert sind, verwundert es nicht, dass sich insgesamt mehr als drei Viertel aller Pflanzenarten einen Pilzpartner zugelegt haben, dessen Rolle um so wichtiger wird, je lebensfeindlicher der Platz ist, an dem eine Pflanze wachsen muss.

Dies trifft auch für durch den Menschen beeinflusste Standorte zu. Besonders augenfällig wurde das, als man versuchte, das Wachstum von Kiefern auf nährstoffarmen Böden durch Düngung mit Harnstoff zu verbessern. Durch diese Maßnahme verringerte sich gleichzeitig die Mykorrhizierungsfrequenz von etwa 90 auf rund 30 Prozent, sodass der erwünschte Effekt ausblieb. Aufgrund dieser und ähnlicher Erfahrungen wird nicht ausgeschlossen, dass die Schädigung der Mykorrhizasymbiose bestimmter Bäume auch beim Waldsterben eine Rolle spielen könnte, denn gerade die besonders betroffenen Baumarten wie Buche, Eiche, Fichte oder Kiefer gehören zu den Gehölzen mit einer starken Mykorrhizierung.

Aber nicht nur die Ernährung des Pflanzenpartners wird durch den Pilz verbessert. Ein anderer Vorteil der Mykorrhizasymbiose besteht für eine Reihe von Pflanzen darin, dass sie vor pflanzenpathogenen Pilzen geschützt werden, denn auch hier kann ein Pilzmantel, ähnlich wie bei der Haltbarmachung von Wurst (siehe Kapitel 10), den Angriff von weniger erwünschten Mikroorganismen verhindern.

Allerdings zieht nicht nur die Pflanze Vorteile aus einem solchen Zusammenleben, sondern auch zahlreiche Pilze kommen inzwischen nicht mehr ohne ihren Pflanzenpartner

aus. Das lässt sich sehr leicht daran erkennen, dass viele der besonders wertvollen Speisepilze wie Trüffel, Steinpilz oder Pfifferling in Kultur, also ohne die Möglichkeit, eine Mykorrhizasymbiose nicht wachsen (siehe Kapitel 10).

Wo viel Licht ist, ist allerdings bekanntlich oft auch Schatten, und so haben es einige Pflanzen geschafft, Mykorrhizapilze für sich einzuspannen, ohne dafür eine Gegenleistung zu erbringen. Das gilt beispielsweise für chlorophyllfreie Schmarotzerpflanzen wie den Fichtenspargel (*Monotropa hypopitys*), der auch in mitteleuropäischen Wäldern heimisch ist. Da er die Fähigkeit zur Fotosynthese vollständig verloren hat (seine chlorophyllfreien Blätter sind zu winzigen Schuppen zurückgebildet), ist er bei seiner Ernährung völlig auf Pilze angewiesen. Damit das funktioniert hat er eine Technik entwickelt, mit der er kontaktsuchende Pilzhyphen, die in seine Wurzel eindringen, zum Platzen bringt, um sich dann die frei werdenden Nährstoffe einzuverleiben. Allerdings ist der Pilz in der Regel nur der indirekte Ernährer dieses Parasiten, denn die meisten Nährstoffe stammen ja von den Bäumen, mit denen der Pilz in einer Mykorrhizasymbiose lebt. So versorgen also manche Bäume über den Umweg Pilz „unwissentlich“ auch noch den einen oder anderen Schmarotzer in ihrer Nähe mit Fotosyntheseprodukten.

Neben der Mykorrhizasymbiose gibt es mit den Flechten noch eine weitere sehr typische „feste Beziehung“ zwischen Pilzen und Pflanzen beziehungsweise fotosynthetisch aktiven Bakterien. Und in dieser Lebensgemeinschaft ist die Bindung zwischen den Partnern sogar derart eng, dass man die Doppelnatur der Organismen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts nicht einmal erkannte. Das lag hauptsächlich daran, dass die Flechten, im Gegensatz zur Mykorrhizasymbiose, bei der die Partner ihre ursprüngliche Gestalt behalten, eine völlig neue morphologische, physiologische und ökologische Einheit bilden, sodass die einzelnen Pilz-, Algen- oder Bakterienpartner nicht mehr

ohne Weiteres als Einzelorganismen zu erkennen sind. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass man die meisten Flechten, wenn man sie nicht völlig mit Verachtung strafte, wie Carl von Linné, der sie als „Pöbel der Vegetation" bezeichnete, zunächst zu den Moosen rechnete oder auch für Tange hielt, wenn sie auf Felsen am Meer wuchsen. Und so dauerte es bis Mitte des 19. Jahrhunderts, bis der deutsche Mykologe Anton de Bary (1831–1888) erstmals die Vermutung äußerte, Flechten seien eine Gemeinschaft aus Pilzen und Algen.

Allerdings setzte sich diese Auffassung nur sehr langsam durch, sodass noch 1953 ein wissenschaftlicher Artikel veröffentlicht wurde, in dem der Autor behauptete, die angeblichen Algen seien in Wahrheit Auswüchse der Pilzhyphen. Inzwischen sind aufgrund zweifelsfreier Beweise für die Doppelnatur der Flechten allerdings auch die letzten Zweifler verstummt.

Bei den Pilzpartnern (Mycobionten) der Flechtensymbiose handelt es sich in der Regel um Ascomyceten. Die Pflanzenpartner (Fotobionten) gehören in der Mehrzahl zu den Grünalgen; außerdem gibt es Arten, bei denen fotosynthetisch aktive Cyanobakterien als Partner der Pilze fungieren. Der Vorteil für die Pilze liegt, ganz ähnlich wie bei der Mykorrhizasymbiose, in der Nährstoffversorgung durch den Fotobionten. Dieser stellt mithilfe der Fotosynthese organische Verbindungen her, sodass es den Flechten möglich ist, Standorte zu besiedeln, auf denen der Pilz allein nicht wachsen könnte, beispielsweise auf glatten Felswänden oder Betonmauern.

Die Vorteile für die Fotobionten sind dagegen nicht so offensichtlich, denn Algen oder Cyanobakterien werden vom Pilz – im Gegensatz zur Mykorrhizasymbiose – ganz augenscheinlich nicht mit Mineralsalzen oder anderen, lebenswichtigen Substanzen versorgt. Da die Flechtenpilze aber zumeist eine feste äußere Rinde aus dicht verwobenen Hyphen bilden, entsteht ein relativ abgeschlossener

Innenraum, in dem sich die Feuchtigkeit länger hält, sodass die winzigen Fotobionten, die sehr leicht austrocknen, dort gut abgeschirmt sind. Außerdem schützt die Rinde des Flechtenthallus sie vor der gefährlichen ultravioletten Strahlung, die eine Schädigungen des genetischen Materials zur Folge haben kann.

Diese für beide Seiten vorteilhafte Verbindung ermöglicht es den Flechten dann auch, sogar vergleichsweise lebensfeindliche Standorte zu besiedeln, die anderen Organismen verwehrt bleiben und die auch weder Fotobiont noch Pilz allein besiedeln könnten. So trifft man Flechten im Himalaja noch in einer Höhe von 5400 Metern an, und in der Antarktis sind sie bis auf 500 Kilometer an den Südpol herangerückt. Allerdings befinden sie sich wegen der niedrigen Temperaturen den größten Teil des Jahres in einem Ruhezustand, sodass sie dort nur sehr langsam wachsen. Bei einigen Flechten konnte allerdings selbst bei minus 24 °C noch eine deutliche Stoffwechselaktivität feststellen und überlebt wurden sogar Minusgrade von rund 200 °C.

Aber auch hohen Temperaturen, die auf der Sonne ausgesetzten Felshängen nicht selten sind, zeigen sich Flechten zumeist gewachsen. So sterben viele Arten selbst dann nicht ab, wenn die Temperaturen im Inneren des Thallus auf 70 °C ansteigen, und ausgetrocknete Lager einiger Flechten vertragen sogar eine kurzfristige Erhitzung (maximal 30 Minuten) auf bis auf 100 °C. Aber auch Austrocknung überstehen die meisten Arten recht gut. So nahmen Exemplare, die mehr als 50 Wochen keinen Tropfen Wasser mehr bekommen hatten, ihre normale Stoffwechseltätigkeit sofort wieder auf, nachdem man sie befeuchtete.

Die geschilderten Vorteile für beide Partner lassen es verständlich erscheinen, dass Flechtensymbiosen mehrfach unabhängig voneinander entstanden sein müssen, denn sowohl Pilze als auch Fotobionten gehören zu den unterschiedlichsten phylogenetischen Gruppen. So gibt es

sowohl Flechten mit kernlosen, also prokaryotischen Cyanobakterien als auch eukaryotischen, also einen Zellkern besitzenden Algen. Und selbst heute kann man bei einigen Flechten noch die Neuentstehung einer Symbiose beobachten: Wie die meisten ihrer allein lebenden Verwandten, verbreiten sich auch zahlreiche Flechtenpilze durch Sporen. Diese keimen an einem neuen Standort aus, um dann sofort auf die Suche nach einem fotosynthetisch aktiven Partner zu machen. Dabei müssen sie allerdings häufig feststellen, dass ihr üblicher Symbiont an ihrem neuen Wuchsort nicht vorhanden ist. Daher nehmen viele Flechtenpilze in ihrer Not zunächst mit einem gerade vorhandenen Fotobionten vorlieb, „verlassen“ ihn aber wieder, wenn sie ihren „Lieblingspartner“ finden.

Viele der Sporen, die von einer Flechte gebildet werden und die prinzipiell in der Lage wären, einen neuen Organismus hervorzubringen, finden allerdings überhaupt keinen neuen Symbiosepartner, sodass sie schnell zugrunde gehen. Um sich dennoch erfolgreich vermehren zu können, bilden einige Flechtenarten daher kleine Thallusanhänge, sogenannte Isidien, in denen sich nicht nur Pilzhyphen, sondern auch Algen- beziehungsweise Cyanobakterienzellen befinden. Diese Anhänge brechen leicht ab und werden dann vom Wind verbreitet oder von Tieren verschleppt, sodass sie an einem geeigneten Standort relativ leicht zu einer neuen Flechte heranwachsen können. Eine vergleichbare Funktion haben auch die Soredien, die ebenfalls von vielen Flechtenarten produziert werden. Dabei handelt es sich um locker von Pilzhyphen umsponnene Symbiosepartnerzellen, die an Thallusaufbrüchen, den sogenannten Soralen, freigesetzt werden, um die Flechte auf diese Weise zu verbreiten.

Allerdings ist die gegenseitige Anpassung noch nicht so weit fortgeschritten, dass die Partner unter bestimmten Bedingungen nicht mehr in der Lage wären, allein zu überleben. So kann man beispielsweise die beiden Foto- und

Mycobionten isolieren und getrennt in Kultur nehmen. Die Pilzkulturen haben dann allerdings keinerlei Ähnlichkeit mehr mit der ursprünglichen Flechte, das heißt, sie bilden, anders als in der Symbiose, kein Lager. In einigen Fällen ist es allerdings gelungen, aus den beiden getrennten Partnern im Labor wieder die Flechte wachsen zu lassen. Und sobald sich die Symbiose etabliert hat, entsteht auch wieder der typische Flechtenthallus.

Nach der Form dieses Lagers lassen sich Flechten in drei unterschiedliche Gruppen aufteilen, die als Krusten-, Blatt- und Strauchflechten bezeichnet werden. Von ihnen sind die Krustenflechten wohl am besten bekannt. Sie bilden dünne, oft leuchtend gefärbte Überzüge auf Baumrinde und Felsen, aber auch auf Skulpturen oder Bauwerken, wobei sie die Wasserknappheit und die oft beträchtlichen Temperaturunterschiede, die an solchen Biotopen herrschen können, in der Regel problemlos meistern.

Das Lager der Blattflechten setzt sich dagegen zumeist aus flachen, blattähnlichen Loben zusammen, die bei einigen Arten, etwa der auch in Deutschland heimischen, wenngleich seltenen Lungenflechte (*Lobaria pulmonaria*) einen Durchmesser von bis zu 30 Zentimetern haben können. Die auffälligsten Strukturen bilden allerdings die Strauchflechten, die dem Substrat zumeist mit schmaler Basis aufsitzen und sich dann strauchartig verzweigen. Bekannte Arten sind das Isländisch Moos (*Cetraria islandica*), das künstlich eingefärbt auf vielen Modelleisenbahnanlagen als Buschwerk Verwendung findet oder die Becherflechten (*Cladonia* spp.), deren leuchtenden roten oder braunen Köpfchen man häufig auf Baumstümpfen findet.

Interessant geworden sind diese ungewöhnlichen Organismen aber auch durch die sogenannten Flechtenstoffe, die von vielen Arten produziert werden. Da einige dieser Stoffe, beispielsweise die Usninsäure, eine antibakterielle Wirkung zeigen, werden sie, wenn auch in

begrenztem Umfang, in der Medizin oder im Pflanzenschutz eingesetzt. Erste Versuche zur Behandlung von Krankheiten gab es sogar schon im Mittelalter, denn damals wurde die Lungenflechte, deren Aussehen ein wenig an eine menschliche Lunge mit ihren beiden Flügeln erinnert, zur Bekämpfung von Lungenleiden verwendet, während man die gelb gefärbte *Xanthoria parietina* bei Gelbsucht anwendete – beides vermutlich mit mäßigem Erfolg. Bei der Ansteckung mit Tollwut verwendete man dagegen eine Mischung aus schwarzem Pfeffer und zerkleinerten Thalli der Hundsflechte (*Peltigera* spp.), weil Hunde zu den häufigeren Überträgern der Tollwut gehören. Auch hier dürfte sich eine Genesung allerdings wohl sehr selten eingestellt haben. Erfolgreicher wurde dagegen die in Skandinavien und Nordamerika heimische Wolfsflechte (*Letharia vulpina*) angewendet, die ein starkes Gift namens Vulpinsäure produziert. Dies hat man sich früher zunutze gemacht, indem man sich die Flechten zum Vergiften von Wölfen benutzte:

> Die Flechte wird zerrissen und pulverisiert. Ist sie dabei trocken, sodass sie stäubt, muss man sich die Nase zustopfen, sonst gibt es Nasenbluten. Das Pulver wird mit Fett und gehacktem Fleisch in einer Pfanne über schwachem Holzkohlenfeuer erwärmt und gerührt, damit es nicht anbrennt. Nachher bringt man dazu frisches Blut und zerriebenen Rentierkäse, sodass es gut riecht. Das Gift wird in Leichen zerrissener Rentiere angebracht, zwischen Haut und Fleisch oder in das Fleisch hineingesteckt. Ein Wolf, der das Gift verschluckt hat, stirbt meistens innerhalb von 24 Stunden, wenn er nicht rechtzeitig frisches Blut frisst. (Henssen und Jahns 1974)

Das Gift der Wolfsflechte ist aber nicht nur nach dem Verzehr des Thallus wirksam. Vielmehr wird es bereits bei

Berührung über die Haut aufgenommen, sodass es in Finnland üblich war, die Flechte vor dem Besuch beim Zahnarzt auf der Backe zu zerreiben, um auf diese Weise den Kiefer zu betäuben.

Die wohl wichtigste Rolle für das Leben auf der Erde spielen Flechten aber sicher wegen ihrer bereits erwähnten Fähigkeit, als Lebensgemeinschaft sogenannte Extremstandorte zu besiedeln und zu verändern, also Biotope, an denen ein Leben zuvor kaum möglich war. Der Grund ist, dass die dort wachsenden Flechten, wenn sie später absterben und zerfallen, an den zuvor unwirtlichen Standort zumindest eine kleine Menge fruchtbares Substrat zurücklassen, das dann anderen Organismen die Ansiedlung ermöglicht.

Schlussbemerkungen

Auch wenn die Wissenschaft in den vergangenen Jahrzehnten dafür gesorgt hat, dass den Pilzen viele ihrer Geheimnisse entrissen wurden, bleibt unser Verhältnis zu diesen ungewöhnlichen Organismen doch weiterhin zwiespältig. Schließlich gab es in der Vergangenheit unzählige Opfer zu beklagen, für deren Tod Pilze verantwortlich sind. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang vor allem die großen Hungersnöte, die von pilzlichen Pflanzenparasiten verursacht wurden. Aber auch menschenpathogene Arten oder Giftpilze verursachen alljährlich zahlreiche Todesfälle, ganz zu schweigen von den vielen Millionen alkoholkranker Menschen, von denen ebenfalls viele ihr Leben lassen müssen, weil sie es nicht geschafft haben, mit dem Alkohol – also einem Stoffwechselprodukt bestimmter Pilze – verantwortungsvoll umzugehen.

Gleichzeitig haben Pilze aber aus menschlicher Sicht auch viele positive Eigenschaften. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang vor allem die verschiedenen Antibiotika, die alljährlich das Leben unzähliger Menschen retten. Und es ist wahrscheinlich, dass in Pilzen noch weitaus mehr Substanzen schlummern, die sich irgendwann einmal medizinisch verwendet lassen.

Aber auch die ökologische Rolle, die den Pilzen zukommt, rückt in den letzten Jahren immer weiter ins Bewusstsein vieler Menschen. So muss man sich nur noch einmal verdeutlichen, dass das Leben auf der Erde ohne den Abbau der pflanzlichen Biomasse, an der die Pilze in entscheidendem Maße beteiligt sind, schnell zum Stillstand käme. Daher kann es sicher auch nicht schaden, wenn wir ab und zu, vielleicht dann, wenn wir in einem gemütlichen Restaurant eine schmackhaft zubereitete Pilzbeilage oder

ein kühles Pils serviert bekommen, einmal kurz darüber nachzudenken, wie arm die Welt ohne Pilze wäre.

Literatur

Ainsworth, Geoffrey Clough (1976) Introduction to the History of Mycology. Cambridge University Press, Cambridge

Alexopoulos, Constantine John (1966) Einführung in die Mykologie. Gustav Fischer, Stuttgart

Becker, Alfred R. H. (1983) DuMont's Mirakelbuch der Pilze. Du-Mont, Köln

Birch, Beverly (1993) Alexander Fleming. Georg Bitter, Recklinghausen

Bon, Marcel (1988) Pareys Buch der Pilze. Paul Parey, Hamburg

Cetto, Bruno (1988) Enzyklopädie der Pilze. BLV, München

Clémençon, Heinz (1962) Antabus-Wirkung bei Kühen? Schweizerische Zeitschrift für Pilzkunde 40: 170–172

Dörfelt, Heinrich (Herausgeber) (1989) Lexikon der Mykologie. Gustav Fischer, Stuttgart

Dörfelt, Heinrich; Görner, Herbert (1989) Die Welt der Pilze. Urania, Leipzig

Findlay, Walter Philip Kennedy (1982) Fungi. Folklore, Fiction & Fact. Richmond Publishing, Richmond

Flammer, René; Horak, Egon (1983) Giftpilze – Pilzgifte. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart

Gerhardt, Ewald (1995) BLV Handbuch Pilze. BLV, München

Henssen, Aino; Jahns, Hans Martin (1974) Lichenes. Georg Thieme, Stuttgart

Hoffmann, R. (1981) Rock Story. Ullstein, Frankfurt

Hofmann, Albert (1993) LSD – mein Sorgenkind. Deutscher Taschenbuch Verlag, München

John, A. (1935) Massenvergiftung mit dem Pantherpilz (*Amanita pantherina* DC.) in Plauen im Vogtland. Zeitschrift für Pilzkunde 14: 9–11

Kell, Volkbert (1991) Giftpilze und Pilzgifte. Ziemsen, Wittenberg

Müller, Gunther (1961) Die Hefen. Ziemsen, Wittenberg

Müller, Emil; Loeffler, Wolfgang (1992) Mykologie. Grundriß für Naturwissenschaftler und Mediziner. Thieme, Stuttgart

Phillips, Roger (1990) Der Kosmos-Pilzatlas. Franckh-Kosmos, Stuttgart

Rätsch, Christian (1991) Von den Wurzeln der Kultur. Sphinx, Basel

Roth, Lutz; Frank, Hanns; Kormann, Kurt (1990) Giftpilze, Pilzgifte: Schimmelpilze, Mykotoxine; Vorkommen, Inhaltsstoffe, Pilzallergien, Nahrungsmittelvergiftungen. Ecomed, Landsberg

Sandford, Jeremy (1972) In Search of the Magic Mushroom. Peter Owen, London

Schmidbauer, Wolfgang; von Scheidt, Jürgen (1988) Handbuch der Rauschdrogen. Nymphenburger, München

Schmidt, I. (1977) Ein schwerer Vergiftungsfall durch den Grünen Knollenblätterpilz. Mykologisches Mitteilungsblatt 21; 74–77

Seeliger, Heinz P. R.; Heymer, Theresia (1981) Diagnostik pathogener Pilze des Menschen und seiner Umwelt. Thieme, Stuttgart

Tacitus, Publius Cornelius Germania/Die Annalen. In einer Übersetzung von W. Harendza (1964). Goldmann, München

Vandenberg, Philipp (1988) Der Fluch der Pharaonen. Gustav Lübbe, Bergisch Gladbach

Wainright, Patricia O.; Hinkle, Gregory; Sogin, Mitchell L.; Stickel, Shawn K. (1993) Monophyletic Origins of the Metazoa: An Evolutionary Link with Fungi. Science 260: 340–342

Weber, Herbert (1993) Allgemeine Mykologie. Gustav Fischer, Stuttgart

Webster, John (1983) Pilze. Eine Einführung. Springer, Berlin Heidelberg New York

Impressum

Reihe „Red Guide“
Verlagskontakt:
Fresnostraße 2, D-48159 Münster
Telefon +49 (0)2 51-620 320
Fax +49 (0)2 51-922 60 99
e-Mail: lit@lit-verlag.de
http://www.lit-verlag.de

Auslieferung:

LIT Verlag
Fresnostraße 2, D-48159 Münster
Telefon +49 (0)2 51-620 3222, Fax +49 (0)2 51-922 60 99
e-Mail: vertrieb@lit-verlag.de

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.
ISBN 978-3-643-10914-9